



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

KALLE VIITANEN

NOSTURIN OHJAAMOSIMULAATTORIN SUUNNITTELU NOSTU-
RIN SÄHKÖJÄRJESTELMÄN TEHDASTESTAUKSEEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Teuvo Suntio
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 7. maaliskuu-
ta 2012

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Viitanen, Kalle: Nosturin ohjaamosimulaattorin suunnittelu sähköjärjestelmän tehdastestaukseen

Diplomityö, 69 sivua, 4 liitesivua

Elokuu 2012

Pääaine: Sähkökäyttöjen tehoelektroniikka

Tarkastaja: professori Teuvo Suntio

Avainsanat: RTG -nosturi, mekatroniikka, PLC, teollisuusverkko, kenttäväylä

Tuotteen testaaminen on merkittävä osa nosturin valmistusprosessia. Testauksessa pyritään havaitsemaan kokoonpanovirheiden lisäksi sähkö- ja automaatio suunnittelun kautta nosturiin päätyviä virheitä. Jokaisen sähkölaitteen testauksen lisäksi nosturin sähköjärjestelmälle tehdään toiminnallinen testaus. Toiminnallisen testauksen aikana sähkölaitteet yhdistetään toimivaksi kokonaisuudeksi, jonka toiminnot todennetaan apulaitteiden avulla. Testattavan sähköjärjestelmän pääosat ovat sijoitettuna nosturin sähköhuoneeseen ja ohjaamoon.

Sähkölaitetehtaalla tapahtuneiden uudelleenjärjestelyiden vuoksi nosturin ohjaamoa ei valmisteta tehtaalla eikä valmista ohjaamoa toimiteta sähkölaitetehtaalle. Järjestely vaikuttaa merkittävästi nosturin sähköjärjestelmän toiminnalliseen testaukseen. Tämän diplomityön tavoitteena oli kehittää ratkaisu toiminnallisen testauksen toteuttamiseen ilman ohjaamoa. Työ rajattiin koskemaan kumipyöräkonttinosturin eli RTG -nosturin uutta Smart Cabin -mallia.

Tutkimuksessa tarkasteltiin nosturin sähkökäyttöjen prosesseja ja ohjausjärjestelmän toimintaa osana nosturia. Lisäksi ohjausjärjestelmän kenttäväylätekniikkaa ja sitä hyödyntäviä laitteita tarkasteltiin erikseen vaihtoehtoratkaisujen luomiseksi. Teorian pohjalta tutkittiin mahdollisuutta korvata uusi Smart Cabin -mallin ohjaamo sähköjärjestelmän testauksessa ohjaamosimulaattorilla. Ohjaamosimulaattori mahdollistaa toiminnallisen testauksen nopeuttamisen ja helpottamisen.

Tutkimuksen pohjalta rakennettiin ohjaustuolia muistuttava simulaattori. Kehitetyn ohjaamosimulaattorin sähköinen rakenne valittiin siten, että se olisi mahdollisimman yhteensopiva eri nosturijärjestelmien kanssa ja mahdollisimman helposti käyttöönotettava. Tätä varten kehitystyössä tarkasteltiin ja hyödynnettiin toteutuneissa nostureissa käytettyjä ratkaisuja, jotta laitteisto toimisi yleisesti RTG -nostureissa. Ohjaamosimulaattoriin kehitettiin informatiivisia ja toiminnallisia funktioita, jotka tehostavat testauksen kulkua. Näiden funktioiden käytölle kehitettiin helppokäyttöinen käyttöliittymä, joka edesauttaa ohjaamosimulaattorin testauksen aikaista käyttöä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

VIITANEN, KALLE: Design of crane cabin simulator for crane electrical system factory tests

Master of Science Thesis, 69 pages, 4 Appendix pages

August 2012

Major: Power electronics of electrical drives

Examiner: Professor Teuvo Suntio

Keywords: RTG -crane, mechatronics, PLC, industrial network, field bus

Testing of products is a significant part of the crane manufacturing in the electrics factory. The testing aims to detect errors in configuration, electrical, and automation design of the cranes. Along with testing each product separately, there is a functional testing for crane electrical system. During the functional testing, separate products connected into one functional totality, whose operations are verified through the auxiliary devices. Main parts of the tested entity are located in the electrical room and the cabin.

Due to re-organization of production, the cabin, one significant part of functional test, will be manufactured in a different location. The task was to find a solution to perform functional test in new manufacturing organization. Task was limited to concern only RTG -cranes.

Crane mechatronic system was studied. In addition, the control system field bus technologies as well as devices utilizing field bus were examined separately for understanding underlying possibilities to make different solutions. The possibility of substituting new Smart Cabin -model with cabin simulator in the functional testing were researched based on the study. It was found that the cabin simulator would also provide possibility to accelerate and facilitate the functional testing.

Basing on research and development work, the simulator, which represents a control chair, was built. The electrical structure of cabin simulator was chosen for the basis of compatibility with other crane designs and it is easy to configure into service. To this end many ready crane projects were examined and used in the development in order to predict possible changes in hardware. Informative and operational functions of cabin simulator were developed to enhance the testing. In addition, easy-to-use interface were made.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Konecranes Finland Oy:lle Hyvinkäällä. Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja se tarjosi minulle mahdollisuuden laajaan tutustumiseen nosturi-suunnittelun eri osa-alueille.

Työn ohjaajana toimivat Ilya Nikitin ja Petri Tiitinen. Haluan kiittää heitä tähän työhön liittyvistä ohjeista ja neuvoista. Työn tarkastajana toiminutta professori Teuvo Suntiota haluan kiittää työhön liittyvistä kommentteista ja parannusehdotuksista sekä erittäin laadukkaasta ohjauksesta opintojeni aikana.

Haluan lisäksi kiittää Konecranes Oy:n automaatio suunnitteluosaston työntekijöitä lukuisista neuvoista automaatio suunnitteluun, jotka edesauttoivat tämän diplomityön valmistumista.

Kiitän lopuksi läheisiäni ja ystäviäni kaikesta saamastani tuesta ja kannustuksesta opintojeni loppuun saattamiseksi.

Hyvinkäällä 14.8.2012

Kalle Viitanen

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
2	Kumipyöräkonttinosturi, RTG	3
2.1	RTG -nosturin rakenne.....	3
2.2	RTG -nosturin sähkökäyttö.....	5
2.2.1	RTG nosturin tehonsyöttö ja moottorien toiminnot.....	5
2.2.2	Taajuusmuuttaja.....	9
2.2.3	Oikosulkumoottorit.....	10
2.3	RTG -nosturin ohjausjärjestelmä	11
2.3.1	Ohjelmoitava logiikkayksikkö, PLC.....	12
2.3.2	Kenttäväylä nosturissa	13
2.3.3	Kenttäväylän oheislaitteet.....	13
2.4	Ohjaamo	14
2.4.1	Simuloitava ohjaamo, Smart Cabin	15
2.4.2	Ohjainkonsoli.....	16
2.4.3	Etäasema	17
2.4.4	Valokuitu ja optiset muuntimet	18
2.5	Ohjaamon testilaitte.....	20
3	PLC:n ja kenttäväylän toiminta.....	22
3.1	Kenttäväylä, Profibus DP.....	22
3.1.1	Kenttäväylällä kommunikointi	23
3.1.2	OSI-malli	24
3.1.3	Väyläviestien rakenne.....	25
3.1.4	Taajuusmuuttajan väyläviestin kehys	26
3.2	PLC:n toiminta.....	28
3.3	Kahden DP -isännän välinen kommunikointi	31
3.3.1	Valtuuden luovutus	31
3.3.2	Väyläliitäntä, DP/DP -kytkin.....	33
4	RTG:n sähköjärjestelmän testaus.....	36
4.1	Testauslaitteistoon kohdistuvat säädökset	36
4.2	Koeajon järjestely.....	37
4.2.1	Testaus ja koeajo.....	38
4.3	Ohjaamosimulaattori testauksessa	40
5	Ohjaamosimulaattori	42
5.1	Tekniset ratkaisut	43
5.1.1	Manuaalinen testilaitemalli.....	44
5.1.2	Automatisoidut ohjaamosimulaattorimallit	45
5.2	Testilaitteen mallin valinta.....	47
5.3	Suunnittelun vaiheet.....	48
5.3.1	Ohjaamosimulaattorin sähkösuunnittelu.....	48

5.3.2	Simulaattorin automaatio-ohjelmisto.....	50
5.3.3	Käyttöliittymä ja paneelitoiminnot	53
6	Yhteenveto	59
	Lähteet.....	61
	Liite 1. Ohjainkonsolin toiminnot	
	Liite 2. Etäaseman toiminnot	

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

RTG -nosturi	Kumipyöräkonttinosturi
Pukki	RTG -nosturia tukeva rakenne
ACM -koneisto	Noston apukoneisto RTG -nosturissa, jolla voidaan estää kuormaan kohdistuvaa heijaa ja toteuttaa kuorman hienosäätöä
PLC	Ohjelmoitava logiikkayksikkö, joka toimii nosturin päätoimilaitteena
Profibus DP	Kenttäväylä, joka toimii kommunikaatioväylänä automaattiosovelluksille
CMS	Nosturin monitorointi- ja diagnostiikkatietokone
Smart Cabin	Konecranes Group:n uusi nostureille tarkoitettu ohjaamomalli
OSI -malli	Standardisoitu malli, joka toimii mallina tiedonsiirtoprotokollien muodostamiselle
Control word	Taajuusmuuttajan kommunikaatiokehyksessä määritelty käskysana, jolla voi ohjata toimintoja
Reference word	Taajuusmuuttajan kommunikaatiokehyksen mukaiset referenssiarvot taajuusmuuttajan prosessille
Status word	Taajuusmuuttajan lähettämä tieto sen toimintojen tiloista
Process data word	Taajuusmuuttajan lähettämä analoginen tieto prosessin tilasta
Token ring	Valtuuden luovutusverkko, jolla voidaan kytkeä useita päätoimilaitteistoja yhteen samalle väylälle niin, että laitteet voivat kommunikoida väylällä vuorollaan
DP/DP -kytkin	Väyläyhdistin, joka yhdistää kaksi väylää yhteen sisäisen muistialueensa kautta
HMI	(Engl. Human to machine interface) Laitteisto, jolla ihminen voi vaikuttaa sulautettuun järjestelmään
Signed Integer	Binääritiedon esitystapa, joka kuvastaa kaikkia kokonaislukuja tietyllä välillä

1 JOHDANTO

Sähkölaitteiden testaus on merkittävä vaihe nostureiden sähkölaitteiden kokoonpanossa. Nosturitoimittajien jatkuvasti kiristyvässä kilpailutilanteessa on tärkeää, että nosturi saadaan koottua sovitussa aikataulussa ja luovutettua toimivana kokonaisuutena asiakkaalle. Tehokkaalla testauksella voidaan minimoida kustannuksia, jotka aiheutuvat suunnittelussa ja kokoonpanossa syntyvien virheiden vuoksi. On keskeistä, että virheet huomataan ja korjataan tuotteesta mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Virheiden ja puutteiden korjauskustannuksien arvo nousee huomattavasti, jos ne joudutaan korjaamaan nosturin kokoamiskohteessa asiakkaan luona. Kokoamiskohteessa on usein hankala selvittää sähköjärjestelmän sisältävien ongelmien juurisyitä ja niiden löydyttyä ne on hankala korjata. Korjauskustannusten lisäksi sähköjärjestelmän virheet saattavat aiheuttaa pitkiä viivästyksiä nosturin luovuttamisajankohtaan. Tehokas testaus vähentää nosturin käytön aikana havaittavia ongelmia, joka itsessään nostaa asiakkaan arvostusta yrityksestä. Sähköjärjestelmän testaus ja koeajo on tuottamaton osa nosturin toimituksessa ja usein hidastaa huomattavasti tuotteen läpimenoaikaa tehtaassa, jolloin on järkevää yrittää tehostaa testauksen ja koeajon kulkua.

Sähkölaitetehtaan tuotantoon kohdistuneiden järjestelyiden vuoksi sähköjärjestelmän testauksessa käytettävää ohjaamoja ei valmisteta sähkölaitetehtaalla. Tämän diplomityön tavoitteena oli etsiä ratkaisu testauksen toteuttamiseen järjestelyiden jälkeen. Työ rajattiin koskemaan kumipyöräkonttinnosturin eli RTG -nosturin uutta Smart Cabin -mallia. Alkuselvityksen jälkeen työn tavoitteena on määrittää ja kehittää ohjaamosimulaattori Konecranes Group:n RTG -nostureiden toiminnalliseen testaukseen. Ohjaamosimulaattori kehitetään simuloimaan kaikkia tarvittavia ohjaussignaaleja, joita toiminnallisen testauksen aikana käytetään. Ohjaamosimulaattori mahdollistaa nosturin sähköjärjestelmän testauksen nopeuttamisen ja helpottamisen. Tätä varten simulaattorin kehityksen aikana otetaan huomioon testaukseen käytettävät työvaiheet. Ohjaamosimulaattori kehitetään korvaamaan ohjaamon käyttö sähköjärjestelmän testauksen aikana. Tämä vähentää sähköjärjestelmän testaukseen käytettävää tilaa ja niitä logistiikkakustannuksia, joita syntyy ohjaamon toimituksesta.

Diplomityössä hyödynnetään Konecranes Group:n vanhoja ohjesääntöjä, kokemusperäistä tietoa sekä toteutuneissa projekteissa käytettyjä sähköpiirustuksia. Näiden perusteella pyritään rakentamaan mahdollisimman kattava ohjaamosimulaattori sähköjärjestelmän testaukseen. Ohjaamosimulaattorin suunnittelussa pyritään ottamaan huomioon ne osa-alueet, jotka on määritelty työtä aloitettaessa. Työn aikana on tarkoitus kehittää useampi testilaitemalli, joista valitaan yksi jatkokehitystä varten. Testilaitteen suunnittelussa otetaan huomioon myös koeajajien tarpeet ja vaatimukset.

RTG -nosturin uuden ohjaamomallin testilaitesimulaattorin toimintojen ymmärtämiseksi nosturin toimintaa käsitellään luvussa kaksi. Luvussa esitellään RTG -nosturin tehtävät, toiminta sekä sähkö- ja ohjausjärjestelmä pääpiirteissään. Luvussa kolme käydään läpi ohjelmoitavan logiikkayksikön ja kenttäväylän toiminta. Luvussa neljä esitellään Konecranes Group:n sisäisessä käytössä olevan sähköjärjestelmän koeajomanuaalin mukainen testausjärjestely yleisellä tasolla. Työn päätavoite eli uuden ohjaamomallin testilaitesimulaattori suunnitellaan ja esitellään luvussa viisi. Luvussa käsitellään testilaitteen suunnittelua ja mallia sähköjen, ohjelmiston, käyttöliittymän ja mekaniikan kannalta. Lopuksi työn johtopäätökset kerrotaan luvussa kuusi, jossa tarkastellaan muun muassa testilaitteen jatkokehitysmahdollisuuksia.

2 KUMIPYÖRÄKONTTINOSTURI, RTG

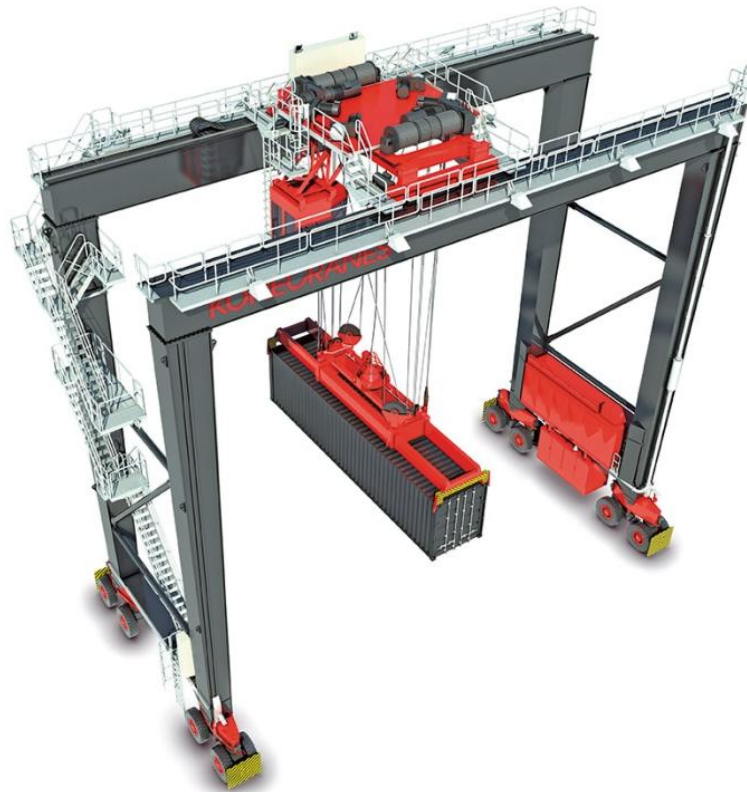
Nykyajan teollisuudella ja logistiikalla on jatkuva tarve entistä nopeampiin ja tehokkaampiin ratkaisuihin purkaa, siirtää ja lastata kuormaa. Tätä tarvetta varten on kehitetty erilaisia nosturimalleja eri käyttötarkoituksiin. Nosturimallit voidaan käyttötarkoituksen mukaan karkeasti jakaa prosessi- ja satamanostureihin, jotka edelleen voidaan jakaa nosturin rakenteen mukaan eri rakenteellisiin malleihin. Yleisin prosessinosturimalli on siltanosturi. Satamanosturimalleista yleisimmät ovat kiskoilla kulkeva nosturi (RMG, engl. Rail Mounted Gantry Crane), kumipyöräkonttinosturi (engl. RTG, Rubber Tire Gantry Crane) ja laiturinosturi (STS, engl. Ship-to-Shore Gantry Crane). Käyttötarkoituksen perusteella nosturiin kytketään tarpeenmukainen nostokalusto ja nostoelin. Erilaisia nosturin nostoelimiä normaalin koukkukiinnityksen lisäksi on imukuppinostin (VLU, engl. Vacuum Lift Unit) ja konttitarrain. Tämä työ keskittyy RTG -nosturiin.

Kumipyöräkonttinosturia eli RTG -nosturia käytetään yleisrahtikonttien nostamiseen satama-alueella. RTG -nosturia käytetään paikoissa, joissa tarvitaan laajaa ja joustavaa toiminta-aluetta. Myös konttirivien sijoittelu ja vanhanaikainen infrastruktuuri konttien varastointialueella voivat edellyttää tämän suhteellisen pienen nosturin käyttöä. Satama-alueeseen ei tarvitse tehdä rakenteellisia muutoksia, koska RTG -nosturi ei tarvitse kiskostoa operoidakseen alueella toisin kuin muut satamanosturimallit. RTG -nosturin liikkuminen kääntyvien kumipyörien varassa mahdollistaa toiminta-alan joustavuuden. Tällöin kiinteät kiskostot eivät rajoita nosturin liikkeitä, vaan nosturi voidaan toimittaa suoraan käyttöpaikalle ja tätä käyttöpaikkaa voidaan tarpeen mukaan vaihtaa eri varastoalueille helposti ja nopeasti. Nosturin kääntyvien pyörien avulla nosturin kulkusuuntaa voidaan vaihtaa. Kulkusuunnan vaihto toteutetaan kaarreajolla tai pyöräparien kulkusuunnan muuttamisella kohtisuoraksi. Nosturi liikkuu konttirivistöjen päällä ja siirtää kontteja rivistöllä tai lastaa niitä kuljetusalustoille. Konecranes valmistaa 8- ja 16-pyöräisiä RTG -nostureita, jolloin tietyt toiminnot vaihtelevat nosturityypeittäin, mutta perusrakenne pysyy samana. [1]

2.1 RTG -nosturin rakenne

RTG -nosturin metallista tukirakennetta kutsutaan pukiksi. Se koostuu kahdesta pääkannatinpalkista ja jalkakehistä, jotka ovat hitsattuja kotelopalkkeja. Rakennelmaa kannattelee joko neljä tai kahdeksan kääntöteliiä, jotka on sijoitettu jokaiselle jalkakehälle. Tasapainopalkki varmistaa, että paino jakautuu tasaisesti kääntötelille. Telillä on kaksi kumipyörää, joista toinen tukee teliä ja toisella sekä tuetaan teliä että toteutetaan siirtoliike. Jokaiselle telille on oma siirtokoneisto, joka koostuu ajomoottorista, vaihteis-

tosta ja jarrusta. Lisäksi teliin on yhdistetty tappikoneisto lukitsemaan teli paikoilleen ajon ajaksi. Pukin ylärakenteessa kulkee kiskosto, jonka päällä vaunu liikkuu. Vaunun pääosat ovat kehikko, kaksi vaunun päätä ja ohjaamo. Molemmissa päädyissä on kaksi omalla siirtokoneistolla toimivaa telapyörää. Päädyn sivuissa on sylinterilaakerit, jotka pitävät vaunun kiskoston linjassa. 16-pyöräinen RTG -nosturi on esitetty kuvassa 2.1. [1, 2]



Kuva 2.1. 16-pyöräinen RTG-nosturi [1]

Nosturin tehonsyöttö toteutetaan joko dieselgeneraattorilla tai dieselgeneraattorilla ja syöttöverkolla. RTG -nostureissa käytetään yleisesti vain dieselgeneraattoria. Generaattorina toimii tahtigeneraattori, jonka teho on tyypillisesti 350-500 kW. [1] Syöttöverkkoa voidaan käyttää silloin, kun RTG -nosturi on kytketty virroitinkaapelin kautta verkkoon. Virroitinkaapeli rullautuu nosturin kelaan ja pois kelasta nosturin liikkeiden mukaan. Kun nosturin paikkaa vaihdetaan konttirivistöjen välillä, nosturi pitää irrottaa syöttöverkosta ja uudella konttirivistöllä kiinnittää takaisin syöttöverkkoon. Teho näiden toiminta-alueiden vaihdon ajaksi saadaan dieselgeneraattorista. Lisäksi molempia tehonsyöttöratkaisuja käyttävät nosturit on mahdollista kytkeä syöttöverkkoon nosturin käyttökatojen ja huoltojen ajaksi, jolloin syöttöverkosta johdetaan teho lämmitykselle ja valaistukselle.

Dieselgeneraattorin kontti on kiinnitetty roikkumaan kahden jalkakehän väliseen teräspalkkiin. Kontti on kiinnitetty tärinänvaimentimilla, jotka ehkäisevät generaattorin

aiheuttaman tärinän välittymistä kantavaan rakenteeseen. Jalkakehien väliseen teräspalkkiin on kiinnitetty myös sähköhuone, joka sisältää RTG -nosturin sähkömoottorien ohjausyksiköt ja päätoimilaitteet. [2; 3]

2.2 RTG -nosturin sähkökäyttö

Kaikki Konecranes Group:n valmistamat nosturit toteuttavat siirtoprosessin liikkeet sähkömekaanisesti ilman hydraulikkaa. Vain tietyt nostoelimet käyttävät hydraulisia koneita. RTG -nosturissa siirtoprosessin sähkökäyttöjen moottoreita ohjataan jännitevälipiirillisillä taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttajat voivat olla yksilöityjä jokaiselle liikkeelle tai niitä voidaan käyttää yhteiskäyttöisenä, jolloin yksi taajuusmuuttaja ohjaa nosto- ja siirtoprosessin eri toimintojen sähkömoottoreita. Yhteiskäytössä teho ohjataan taajuusmuuttajalta eri toimintojen moottoreille kontaktoreilla. Sähkökäyttö tarkoittaa taajuusmuuttajan, sen ohjauksen ja sähkömoottorin muodostamaa kokonaisuutta. RTG -nosturin sähkökäyttö koostuu ohjausyksiköstä, jännitevälipiirillisestä taajuusmuuttajasta ja oikosulkumoottoreista. Näiden avulla verkon tai generaattorin muodostamaa jännitettä muunnetaan sähkömoottoreille toimintojen tarvitsemaan muotoon. Tästä sähkömoottori muuttaa sähköenergian mekaaniseksi energiaksi.

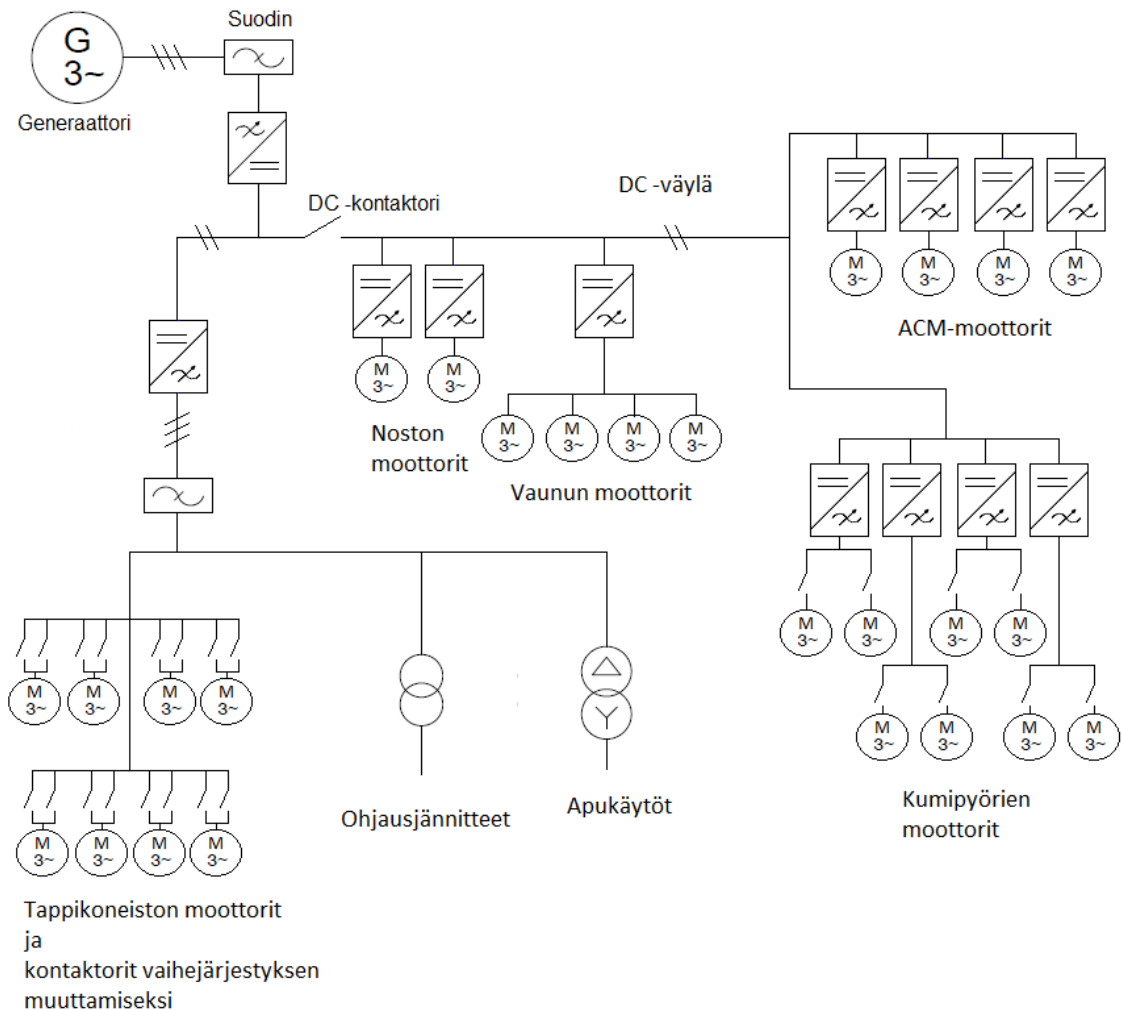
2.2.1 RTG nosturin tehonsyöttö ja moottorien toiminnot

RTG -nosturin sähköjärjestelmä koostuu ohjauskytkentäverkoista ja tehonsyöttölinjoista. RTG -nostureissa käytetään yhteisvälipiirikäyttöä taajuusmuuttajien välillä. Tällä tarkoitetaan yhden tai useamman aktiivisen tasasuuntaajan kytkemistä vaihtosuuntauslaitteille yhteiseen DC-välipiiriin. DC-välipiiristä ohjataan teho nosturin kaikkien toimintojen vaihtosuuntaajille. Kuvassa 2.2 on esitetty pelkistetty yksijohdindiagrammi eri toimintojen tehonsyötölle.

Sähköhuoneesta teho jaetaan toimintojen moottoreille pukin rakennetta pitkin. Liikkuvalle vaunulle on kehitetty oma virransyöttötela, jota kutsutaan energiatelaksi. Energiatelan myötä on pystytty luopumaan virroittimesta, jossa vaunuun johdetaan teho virtakiskosta hiiliharjoja pitkin. Hiiliharjat kuluvat ja aiheuttavat ylimenohäviötä. Energiatela liikkuu vaunun alla omaa uraansa pitkin kääntyen kaksin kerroin vaunun liikkeiden mukaan.

Sähköhuoneen päälle on asennettu noston jarruvastukset, joissa sähkömoottoreiden generoima jarrutusenergia muutetaan lämmöksi. Nämä vastukset ovat ainoat yhteisellä DC-välipiirillä, jolloin noston molemmat vaihtosuuntaajat ovat vastuussa DC-välipiirin jännitteen laskusta. Vaihtosuuntaajat kytkevät pulssimaisesti jarrukatkojaa. Tämä johtuu siitä, että vaihtosuuntaaja mittaa jarrukytkentöjen välillä DC-välipiirin jännitettä. Vaihtosuuntaajat vuorottelevat kytkentöjä passiivisesti ilman vaihtosuuntaajien ohjausyksiköiden välistä kommunikaatiota. Tämä suoritetaan kytkentöjen ohjauspulssien tauotuksella. Kun toinen suuntaaja pitää tauon ohjauksen kytkennöille, toinen

suuntaaja saa herätteen nousevasta jännitteestä ja aloittaa jarrukatkojan ohjaamisen. Tällä menettelyllä taataan, että molemmat vastukset kuluttavat lähes saman verran tehoa.



Kuva 2.2. Pelkistetty yksijohdindiagrammi 16-pyöräiselle RTG -nosturille

Diesलगенераattori on kestopäagnetöitöu tahtiköne, joka luo jännitteen kaikille toiminnoille. Generaattorin toimintaa säädetään nosturin kuluttavan tehon mukaan, jolloin generaattori kuluttaa vähemmän polttoainetta. Generaattoriin kytketty aktiivinen tasasuuntaussilta luo tasajännitteen DC -välipiiriin generaattorin luomasta vaihtojännitteestä. DC -välipiiriä pitkin sähkö johdetaan moottorikäyttöisten toimintojen ja apukäyttöjen vaihtosuuntaajille. Eri toimintojen sähkömoottorit voivat myös jarruttaa sähköisesti liike-energiansa välipiiriin vaihtosuuntaajien avulla. DC-välipiirin ylimääräinen jarruenergia johtuu järjestelmän muiden toimintojen käyttöön. Tällöin dieselgeneraattoria voidaan pitää tyhjäkäynnillä, jolloin polttoainetta kuluu vähemmän ja generaattori ei tuota tehoa järjestelmään. Järjestelmä ei välttämättä pysty käyttämään kaikkea energiaa jarrutustilanteessa, jolloin välipiirin jännite nousee ja ylimääräinen energia hukataan noston jarruvastuksiin.

Nosturin käynnistyksessä dieselgeneraattori ohjataan ensimmäisenä päälle. Tämä tapahtuu dieselgeneraattorin ohjausjärjestelmän kautta, joka saa jännitteen nosturin akkujärjestelmästä. Dieselgeneraattorin käynnistyessä generaattori luo jännitteen sähköhuoneessa sijaitsevalle aktiiviselle tasasuuntaussillalle. Käynnistyksen aikana generaattoria käytetään nimellisteholla, jotta tasasuuntaussillalle saadaan muodostettua tarpeeksi suuri jännite. Aktiivinen tasasuuntaussilta pystyy säätämään jännitteen muodostusta välipiiriin ja nostaa generaattorin luomaa jännitettä yhteistyössä tasasuuntaajan suotimen kanssa. Käynnistyksen yhteydessä aktiivinen tasasuuntaussilta ei ole päällä, jolloin se luo passiivisesti tasasuunnatun jännitteen apukäyttöjen taajuusmuuttajalle. Tämän jälkeen apukäyttöjen taajuusmuuttaja käynnistyy sen ohjauslaitteen saadessa sähkönsä laitteen sisäisestä muuntimesta. Taajuusmuuttaja muuntaa tasasuunnatun jännitteen vakiotaajuiseksi jännitteeksi. Tämä vakiotaajuinen jännite johtuu ohjausjännite muuntajalle magnetointivastusten kautta, jotta muuntajan magnetoinnin aiheuttama nopea virran kasvu ei ylikuormittaisi taajuusmuuttajaa. Aikahidastuksen jälkeen magnetointivastukset ohitetaan.

Ohjausjännitemuuntaja luo jännitteen kaikkien taajuusmuuttajien ohjausyksiköille ja nosturia ohjaavalle päätoimilaitteelle. Aktiivisen tasasuuntausillan ohjausyksikkö käynnistyy, kun nosturia ohjaava päätoimilaite käynnistyy ja ohjaa tasasuuntausillan ohjausyksikön päälle. Tämän jälkeen tasasuuntaussilta muuttuu aktiiviseksi ja generaattorin käyttöastetta voidaan vähentää. Aktiivinen tasasuuntaussilta nostaa jännitteen tasoa välipiirissä. Tämän jälkeen nosturin päätoimilaite ohjaa DC -välipiirien välisen latauspiirin kiinni, jolloin välipiirien jännite-ero tasaantuu vastusten kautta. Noston taajuusmuuttajat lähettävät tiedon välipiirijännitteen tilasta päätoimilaitteelle kenttäväylän välityksellä. Jännitteiden välisen eron tasaannuttua päätoimilaite ohjaa DC -välipiirit yhteen DC -kontaktorin välityksellä. Tämän jälkeen kaikkien sähkökäyttöjen vaihtosuuntaajat ovat jännitteisenä.

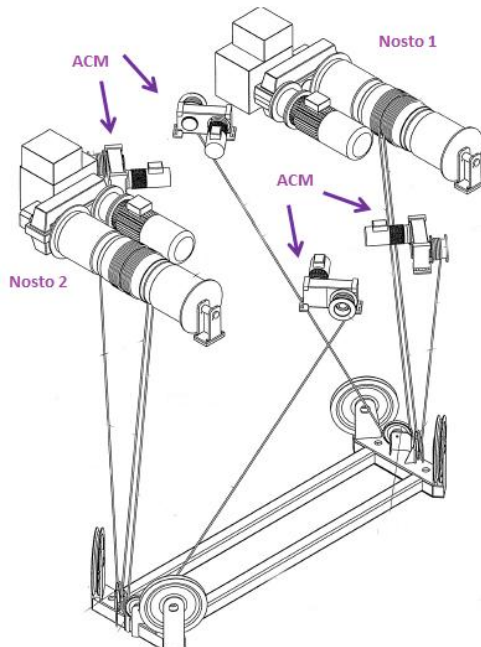
RTG -nosturin telien moottoreille johdetaan teho sähköhuoneessa sijaitsevista vaihtosuuntaajista. Nämä moottorit tuottavat nosturin liikkeitä ja käännöt. Nosturin suoraan liikkumiseen osallistuvat kaikkien kääntötelien moottoroidut pyörät, jolloin teho jakaantuu kumipyörien vaihtosuuntaajille tasaisesti. Kääntöteli sisältää myös tappikoneiston, joiden tappi lukitsee telit paikoilleen. Tappikoneisto koostuu sähkömoottorilla ohjattavasta tapista ja tappilevystä. Tappikoneiston moottoreille johdetaan teho apukäyttöjen vaihtosuuntaajalta. Tappikoneiston toiminnalle riittää vakiotaajuinen jännite, sillä koneiston moottoreiden nopeutta tai momenttia ei tarvitse säätää. Tappilevyssä on useita reikiä, joiden paikka määräytyy kääntötelin kulman mukaan.

Nosturin telien kääntö alkaa tappikoneiston lukitustapin nostamisella tappilevystä. Lukitustapin nostamisen jälkeen jalkakehikon toinen kääntöteli ohjataan kontaktoreilla jännitteettömäksi, jotta nosturi pysyy telien käännön aikana varmasti paikoillaan. Tämän jälkeen toisen kääntötelin moottorille ohjataan teho. Teli kääntyy, koska vain toinen kumipyörä on vetävä, mikä aiheuttaa momentin jalkakehikan akselin suuntaisesti. Telin kääntö aiheuttaa huomattavaa räsytystä renkailla ja vaihtosuuntaajalle. Tästä syystä käännön tarvetta pyritään optimoimaan. Telin käännön jälkeen tappikoneistot lukitse-

vat pyörät paikoilleen omaan kulma-asentoonsa. Oikean kulma-asennon paikan nosturin ohjausjärjestelmä tietää absoluuttianturin toiminnasta. [4]

RTG -nosturin toiminta-alue on usein hyvin lähellä satamia, jolloin nosturi jou-
tuu kovien sääolosuhteiden koettelemaksi. Suuret rakenteet keräävät tuulen kineettistä
energiaa, jolloin nosturi pyrkii liikkumaan jarruja vastaan. Tämän takia pyöräparit voi-
daan kääntää myrskylukitusasentoon. Myrskylukitus toimii neljällä uloimmalla kääntö-
telillä, jotka kääntyvät 90° kulmaan, jolloin nosturien pyöräparit antavat tarvittavan lisä-
tuennan myrskyn ajaksi. [4]

Vaunut varustetaan kahdella nostokoneistolla ja neljällä noston apukoneistolla,
joita kutsutaan ACM -koneistoksi. Molemmat nostokoneistot ja apukoneistot saavat
tehon omalta vaihtosuuntaajalta. Nostokoneistot on sijoitettu vaunun yläosaan ja koos-
tuu sähkömoottorista, vaihteistosta ja köysitelasta. Noston köysitelat ovat yksikerroste-
loja ja molemmissa teloissa on kaksi nostoköyttä. Nostoköydet kierretään taittopyörien
kautta nostoelimen pidikkeeseen, jolloin köysiteloja voidaan pyörittää pienemmällä
momentilla. Kaksi erillisohjattua nostokoneistoa mahdollistaa kuorman päätyjen korke-
useron säädön. Tämä on merkittävä ominaisuus, jos lastattava kohde on epävakaalla
alustalla. Nostokoneiston toimintaa pitää valvoa, jotta kuorman laskussa köydet eivät
pääse löystymään. Köysien löystyminen aiheuttaa köysien sijoittumisen väärin noston
köysitelalle tai köyden hyppäämisen pois noston väkipyöriltä. Löystymisen valvonta
perustuu noston moottoreiden momentin laskentaan, jossa momentin aleneminen tietyn
pisteen alle aiheuttaa laskun pysäyttämisen. [5] Kuvassa 2.3 on havainnollistettu nosto-
ja ACM -koneiston toimintaa.



Kuva 2.3. Nosto- ja ACM -koneiston periaatekuva [5]

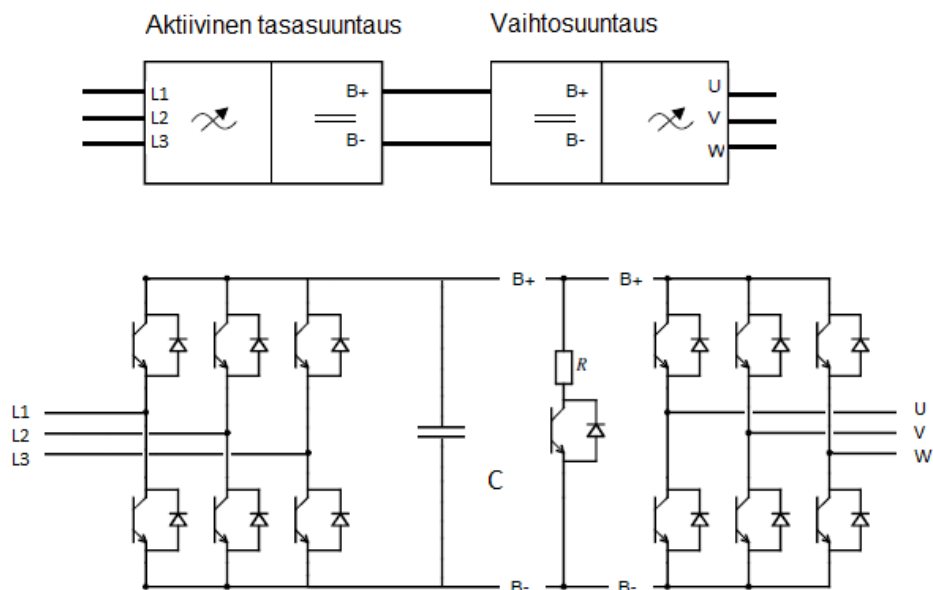
RTG -nosturin neljä ACM -koneistoa tukevat kuormaa köyden välityksellä nel-
jästä pisteestä. Noston ja nosturin siirtoliikkeen aikana nämä köydet pidetään jänni-
tyksessä neljällä apunostomoottorilla. Jännittyneet köydet vaimentavat kuorman heilah-

dusliikettä. Lisäksi apukoneistolla voidaan toteuttaa kuorman mikroliikkeitä kaikissa horisontaalitason suunnissa. Apukoneisto nopeuttaa ja helpottaa huomattavasti nosturin toimintaa kaikkien sen nosto- ja siirtoprosessien vaiheissa.

2.2.2 Taajuusmuuttaja

Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja muuntaa verkon vaihtosähköä sähkömoottorin ohjaukseksi tarvittavaan muotoon. Taajuusmuuttajalla voidaan muodostaa sähkömoottorille määrätyn taajuinen ja suuruinen vaihtojännite. Näitä suureita muuntamalla voidaan muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia portaattomasti. Jännitevälipiirilliset taajuusmuuttajat koostuvat tasasuuntaussillasta, DC-välipiiristä ja vaihtosuuntaajasta. Tasasuuntaussilta voi olla passiivinen tai aktiivinen. Vain aktiivisella sillalla voidaan nosturin sähköisestä jarrutuksesta syntyvää sähköenergiaa siirtää jännitelähteeseen.

Konecranesin RTG -nosturin taajuusmuuttajat on usein jaettu useisiin yksiköihin. Näiden yksiköiden yhteiskäyttö muodostaa jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan. Erilaisissa nosturimalleissa käytetään eri yksiköitä maksimitehon, tehonsyötön tai muiden ominaisuuksien takia. Yksiköitä voidaan myös kytkeä rinnan, jolloin taajuusmuuttajan tehoa saadaan laskettua tai toiminnon kokonaistehoa nostettua. Yksiköt on jaettu toiminnallisuuden puolesta aktiivisiin tasasuuntausyksiköihin ja taajuusmuuttajiin. Taajuusmuuttajat voivat toimia itsenäisesti tai DC-välipiiri voidaan kytkeä suoraan aktiivisen tasasuuntausyksikön välipiiriin. Kuvassa 2.4 on esitetty kuva taajuusmuuttajan yhteiskäytöstä.



v

Kuva 2.4. Taajuusmuuttajan periaatteellinen rakenne

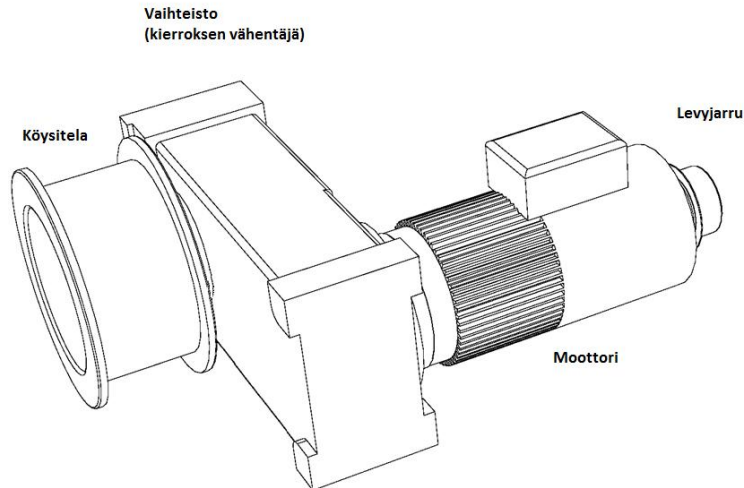
Passiivisessa tasasuuntauksessa käytetään tasasuuntaussiltana kolmivaiheista diodisiltaa, joka tasasuuntaa verkon kolmivaihejännitteen välipiirille. Välipiiriin muodostuu tasasuuntauksessa noin pääjännitteen huippuarvon mukainen jännite, jos välipiiriä ei kuormiteta. Passiivinen tasasuuntaussilta mahdollistaa tehon kulkusuunnan jännitelähteeltä välipiirille, mutta ei välipiiriltä jännitelähteelle. Aktiivinen tasasuuntaus eroaa passiivisesta siten, että tasasuuntaussilta on toteutettu kytkinkomponenteilla. Näitä komponentteja ohjaamalla voidaan tasasuunnata jännite välipiirille ja muuttaa tehon kulkusuunta välipiiriltä vaiheisiin. Aktiivisella tasasuuntauksella pystytään laskemaan välipiiriin jännitettä. Jännitteen nostaminen vaatii aktiivisiltaan kytkettyä suodinta.

Välipiiriin pääosat ovat kondensaattoriparistot, välipiiriin suojaus- ja mittauskytkennät. Kondensaattoriparistot toimivat välipiiriin energiavarastona. Kondensaattoriparistot tasaavat välipiiriinjännitettä ja luovat välipiirille nollapotentiaalipisteen. Välipiiriin jännitteen noustessa, esimerkiksi sähköisen jarrutuksen aikana, välipiiriin jarrukytkin ohjataan johtavaan tilaan, jolloin välipiiriin energia muuntuu lämmöksi jarruvastuksessa. Nämä jarruvastukset ehkäisevät välipiiriinjännitteen nousun aiheuttamilta rasituksilta. Jokaisella yksiköllä on omat kondensaattoriparistot tasaamassa välipiiriin jännitettä.

Vaihtosuuntaussilta koostuu aktiivisista kytkinkomponenteista, joita ohjaamalla saadaan luotua välipiiriinjännitteen suuruksia jännitepulsseja moottorin vaiheille. Kytkinkomponenttien ohjaustaajuus on useita tuhansia kertoja sekunnissa. Jännitepulssien taajuutta ohjataan siten, että jännitepulssien taajuuskomponenttien perusaallon teho olisi mahdollisimman suuri. Myös perusaallon taajuutta ja suuruutta voidaan vaihdella ohjauksen mukaan, jolloin aina pyritään parhaaseen mahdolliseen tehosuhteeseen perusaallon ja muiden yliaaltojen välillä. Perusaalto sisältää moottorille johdettavan pätötehon. Oikosulkumoottori toimii induktiivisena kuormana vaihtosuuntaussillalle. Induktiivisen kuorman johdosta nopeat jännitepulssit aiheuttavat moottorin vaihevirran sini-käyrän muotoiseksi. [6]

2.2.3 Oikosulkumoottorit

Oikosulkumoottorin pääosat koostuvat staattorin tähteen- tai kolmionkytketystä vaihekäämityksestä ja roottorin häkkikäämityksestä. Nosturikäytössä oikosulkumoottori toimii usein vaihteistoon ja telaan kytkettynä. Kuvassa 2.5 on havainnollistettu oikosulkumoottori vaihteiston ja köysitelan kanssa.

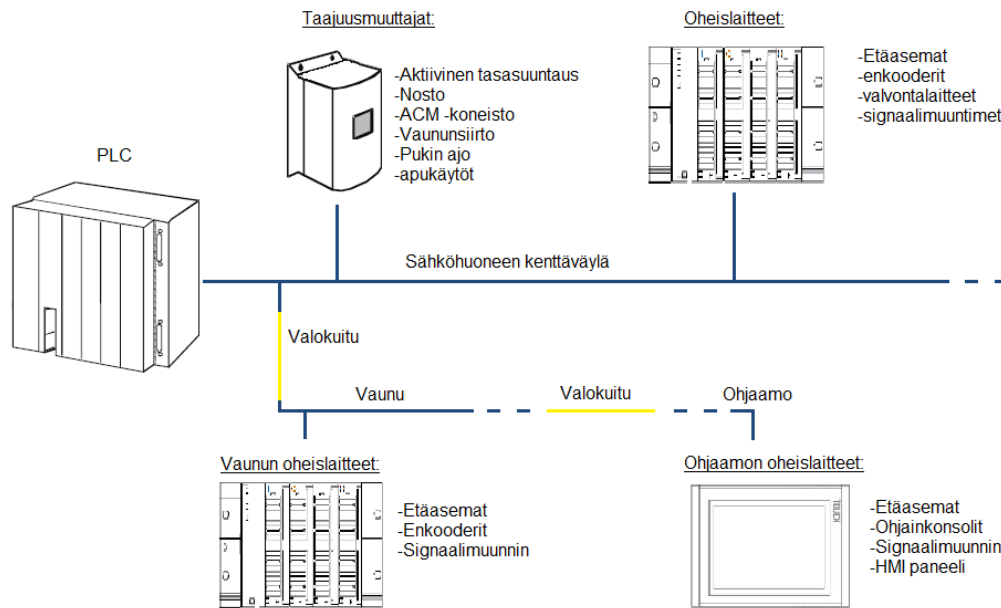


Kuva 2.5. Oikosulkumoottori [5]

Oikosulkumoottorin staattorikäimityksen läpi kulkeva vaihtovirta luo häkkikäämityksen läpi muuttuvan magneettikentän. Muuttuva magneettikenttä indusoi häkkikäämitykseen virran, jolloin magnetoitunut häkkikäämitys alkaa pyöriä. Osa energiasta kuluu häkkikäämityksen resistanssiin, joka aiheuttaa roottoriin jättämän. Jättämä kasvaa sitä mukaan kun roottoriin lisätään kuormaa. Liian suurella kuormalla roottori ei pyöri. [7] Oikosulkumoottorin osat ovat umpinaisen rakenteen sisällä, jolloin ne ovat suojassa pölyltä ja lialta. Oikosulkumoottoreihin on usein liitetty vaihteisto, joka vähentää pyörimiskierroksia. Vaihteiston avulla oikosulkumoottoria voidaan ohjata pyörimään useita kertoja nopeammin kuin kuorman kuuluu pyöriä. Nopeampi pyörimisnopeus soveltuu oikosulkumoottoreille. Suuren pyörimisnopeuden vuoksi moottoreiden jäähdytys voidaan hoitaa roottorin akseliin kiinnitetyllä tuulettimella, jolloin tuuletin pyörii samaan aikaan kuin roottori. Erillisesti kytkettyä tuuletinta käytetään moottoreilla, joilla on alhainen pyörimisnopeus. Jos moottoria käytetään toistuvasti kuorman paikallaan pitämiseen, moottorissa käytetään erillisesti kytkettyä tuuletinta. [5]

2.3 RTG -nosturin ohjausjärjestelmä

RTG -nosturin kuljettaja antaa ohjauksia nosturin toiminnoille ohjaamon ohjauslaitteilla. Ohjausjärjestelmän päätoimilaite eli PLC (engl. Programmable Logic Controller) hallinnoi kuljettajan antamien ohjauksien vastaavia toimintoja. PLC toimii kenttäväylän välityksellä tiedonsiirtoa ohjaavana laitteena hallinnoiden taajuusmuuttajien ohjausyksiköiden ja muiden nosturin väylän oheislaitteiden toimintaa. Kuvassa 2.6 on havainnollistettu nosturin väylälaitteita.



Kuva 2.6. Nosturin ohjausjärjestelmä

PLC kykenee saamaan tilainformaatiota antureilta ja ohjaamaan kontaktoreiden ja releiden toimintaa signaalitulojen kautta. Signaalitulot ovat sisään- ja ulostuloja, jotka voivat olla digitaalisia tai analogisia liitäntäkortteja. Nämä toimivat PLC:n ja nosturin sähköjärjestelmän rajapintana. PLC kytkeytyy muihin laitteistoihin ja kortteihin kenttäväylän välityksellä. Yrityksen nostureissa käytetään kenttäväylänä Profibus DP- väylä-kommunikaatioon väylää. Nosturin kenttäväylä rakentuu suojavaipallisesta parikaapeli- ja valokuituverkosta.

2.3.1 Ohjelmoitava logiikkayksikkö, PLC

RTG -nosturissa tarvitaan koneiden, laitteiden ja prosessien käyttöön energiansyötön ohella myös ohjauslaitteita. Nosturin jokaisen laitteen tai koneen toimintaprosessia tulee voida ohjata, vaikuttaa ja valvoa. Lisäksi nosturissa toimiva prosessi on pystyttävä lopettamaan turvallisesti. Tätä varten nostureissa on siirrytty muistiohjelmoituihin ohjauksiin. RTG -nosturin ohjelmoitava logiikkayksikkö ohjaa suurta osaa nosturin kaikista toiminnoista muistiohjelmoituilla ohjauksilla. Ohjelmoitava logiikkayksikkö on kehitetty erikoistietokoneeksi käsittelemään useiden sisään- ja ulostulojen toimintaa, elektromagneettista taustahäiriötä ja mekaanista rasitusta. PLC on tarkoitettu korvaamaan releillä luotuja loogisia toimintoja, mikä vähentää huomattavasti komponenttien ja tilan tarvetta. Lisäksi tällä yksiköllä voidaan suorittaa laskentaa.

PLC:n ohjelmisto määrittää automaation tason nosturin toiminnassa ja ohjelmistoa muuttamalla voidaan lisätä nosturin toimintoja ilman erillisiä ohjauskytkentöjä. Nosturin toimintojen suoritus pitää olla turvallista nosturille ja henkilöstölle. Tämä vaatii ohjelmoitavalta ohjausyksiköltä ja sen ohjelmistolta nopeaa reaktiokykyä kaikkiin tapahtumiin. Ohjelmiston kuuluu käyttöön otosta lähtien olla valmis ja luotettava. [8]

2.3.2 Kenttäväylä nosturissa

Kenttäväyläteknikka mahdollistaa I/O korttien ja oheislaitteiden hajautetun toiminnan nosturissa. RTG -nostureissa käytetään Profibus DP kenttäväylää. Sen nimi tulee englannin kielen sanoista Process field bus-Decentral Pheripherals, joka tarkoittaa prosessin kenttäväylää hajautetuille oheislaitteille. Kenttäväyläteknikka tarkoittaa prosessilaitteiden tiedonsiirtojärjestelmän rakennetta. Kommunikointi tapahtuu digitaalisessa muodossa ja kenttäväylälle liitetyt laitteet kommunikoivat samalla kielellä. Kenttäväylä yhdistää laitteiden toiminnan ja mahdollistaa toimilaitteiden ja anturien liittämisen päätoimilaitteeseen ilman pitkiä johdotuskytkentöjä. Tämä mahdollistaa suurempien tietomäärien siirron verrattuna johdotuskytkentöihin, kun useiden laitteiden tilatiedot siirtyvät kenttäväylällä. Informaation siirron tarvetta vähentää hajautettujen oheislaitteiden tietojen käsittely, jossa oheislaite käsittelee vain käskyjä ja lähettää tilatietoja eteenpäin. Tällöin siirrettävä informaatio on valmiiksi käsiteltyä.

Kenttäväylällä on hyvä sietokyky elektromagneettisia häiriöitä kohtaan. Häiriön-sietokyky johtuu siitä, että kenttäväylän kaapelina käytetään häiriösuojattua kaapelia. Lisäksi kenttäväylällä käytettävä digitaalinen signaali on häiriökestoista. RTG -nosturin rakenteiden vuoksi kenttälaitteet on sijoitettu eri puolille nosturia. Näiden välillä informaatio siirretään valokuitukaapelilla, joka ehkäisee vielä enemmän sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamia väylän häiriötiloja. [9; 10]

2.3.3 Kenttäväylän oheislaitteet

Kenttäväylän oheislaitteet ovat PLC -ohjelmiston rajapinta nosturiin. Oheislaitteiden kautta ohjelmoitava logiikka pystyy havainnoimaan nosturin toimintoja ja ympäristöä. Oheislaitteisiin kuuluu esimerkiksi anturit, taajuusmuuttajien ohjausyksiköt, CMS (engl. Crane Monitoring System) eli nosturin valvontajärjestelmä ja ControlPro -laite.

PLC -laitteistoon voidaan liittää DIN -väylän kautta signaalikortteja. Signaalikorttien kautta PLC saa tietoa nosturin toimintojen tilasta ja lähtöporttien kautta se ohjaa tilojen muutoksia. Kortteja on digitaalisia ja analogisia, joiden kanaviin voidaan johdottaa ulostulevia tai lähteviä signaaleita. Kanavat jaotellaan tavun kokoihin ryhmiin. Ryhmän kanavamäärä määräytyy sen mukaan, onko signaalikortti digitaalinen vai analoginen.

Digitaalisessa kortissa kanavaan kytketty ilmaisin tai anturi antaa kahdella eri jännite- tai virtatasolla tilatiedon kortille. Tilatiedot ovat binäärimuotoista tietoa eli tosi tai epätosi muotoista. Tila vaihtuu vain, kun jännitteen suuruus ylittää tai alittaa toisen näistä määritetyistä tasoista. Tästä syystä digitaalinen signaali ei ole kovin herkkä taustahäiriöille. Digitaalisilla signaaleilla toimivia laitteita ovat esimerkiksi rajakytkimet ja kosketuspainikkeet.

Analogiset kortit muuntavat analogisia signaaleja tietyllä mittasuhteella digitaalisiksi, jolloin analogiakortit toimivat A/D -muuntimina. PLC -järjestelmä käsittelee tiedon binäärisenä. Erilaisia analogiakortteja ovat jännite-, virta-, ja vastusmittauskortit. Analogisella signaalilla toimivat esimerkiksi moottorin lämpötila-anturit, joiden muuttuvan resistiivisyyden mukaan PLC -järjestelmä saa tiedon lämpötilasta.

Antureita voidaan kytkeä joko suoraan kenttäväylään tai digitaali- ja analogiakortteille. Kenttäväylään kiinnitettävät anturit ovat aina digitaalisia. Suoraan väylään liitettävissä antureissa on diagnostiikkaominaisuuksia, joista saadaan tietoa anturin toiminnan tilasta. Nämä ovat merkittäviä tilanteissa, joissa anturi säätelee toimintaa, joka voi aiheuttaa vaaratilanteita esimerkiksi yhteyden katkettua.

CMS on nosturin monitorointijärjestelmä, johon kuuluu nosturin diagnostiikka sekä käyttö- ja toimivuusinformaation keräys. CMS laitteiston muita toimintoja ovat nosturin toimintojen hahmottaminen käyttäjälle ja historiatietojen dokumentointi. CMS mahdollistaa myös nosturin reaaliaikaisen seuraamisen verkon välityksellä.

ControlPro on ohjelmoitava laite, joka voidaan liittää väylään tai digitaalikortteille. ControlPro on nostoliikkeen turvalaite. Laitteen ominaisuuksia ovat esimerkiksi antureiden tilatietojen keräys, moottorin lämpötilan ohjaus, ylikuorman laskeminen ja pehmeä kiihdytys.

2.4 Ohjaamo

RTG- nosturin ohjaamo painaa noin 1000 kilogrammaa, ja se on sijoitettu nosturin silta-rakenteessa sijaitsevaan vaunuun. Ohjaamo liikkuu vaunun ja sillan mukana, jolloin ohjaajan näkyvyys kuormaan säilyy kaikkien nostoon ja siirtoon liittyvien toimintojen aikana. Ohjaajan näkyvyys nosturin ympäristöön on taattu ohjaamon ikkunasuunnittelulla. Ikkunat kattavat käytännössä kokonaan ohjaamon etu- ja alaosan. Ohjauspenkin edessä sijaitsevat valvontakameroiden monitorit antavat näköyhteyden alueisiin, jotka muuten jäisivät nosturin rakenteiden peittoon. Esimerkiksi valvontakameroista näkee jalkakehien eteen ja taakse, mikä parantaa turvallisuutta huomattavasti nosturin liikerdalla. Tämä on usein vaadittu ominaisuus nosturissa. Kuvassa 2.7 on esitetty Smart Cabin -ohjaamon malli.



Kuva 2.7. Smart Cabin -ohjaamomalli [1]

Ohjaaja voi hallinnoida nosturin kaikkia toimintoja ohjaamon sisään sijoitetulta ohjauspenkin kahdelta käsikonsolilta ja katosta ohjaajan eteen vedettävältä konsolilta. Konsoleihin on liitetty kaikki yleisimmin käytetyt toiminnot ja merkkivalot helpottamaan ohjaajan työskentelyä. Konsoleihin on liitetty myös kaksi joystick -ohjainta, joiden avulla voidaan ohjata nosturin nosto-, siirto- ja apuliikkeiden toimintaa sekä tärkeiden toimintojen tiloja. Ohjaimien toiminnasta kerrotaan tarkemmin alaluvussa 2.4.2.

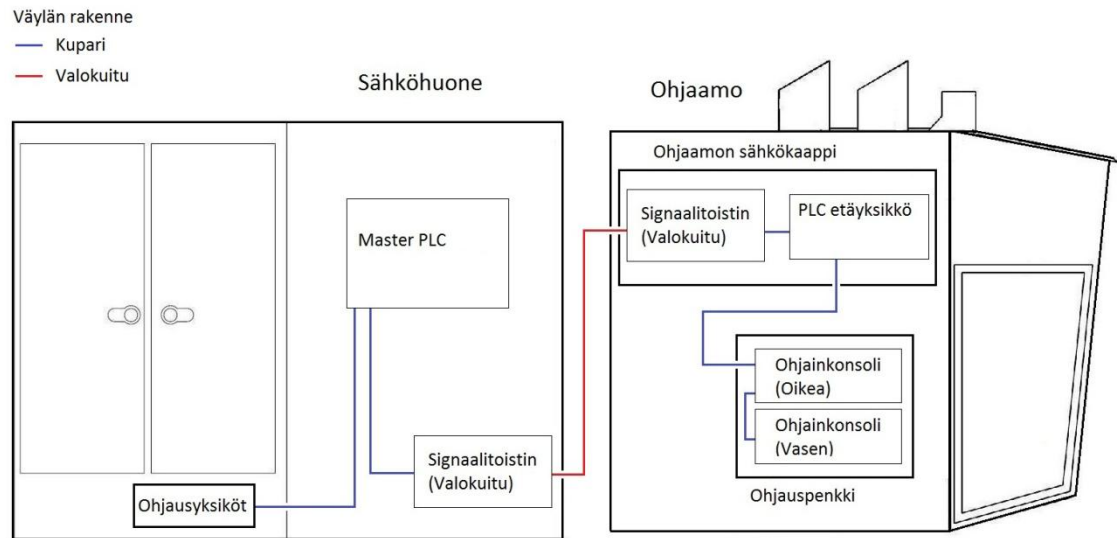
Ohjauspenkin edessä sijaitsee kosketusnäytöllinen diagnostiikan ohjauspaneeli. Diagnostiikan ohjauspaneelistä voi valita monia informaatiotaulukoita, joissa sijaitsevat esimerkiksi nosturin suojajärjestelmien hälytystiedot. Ohjauspaneelin kautta ohjaaja saa myös kriittistä tietoa nosturin eri toimintojen valmiuksista, tiloista ja paikasta. [2]

2.4.1 Simuloitava ohjaamo, Smart Cabin

Uuden Smart Cabin -mallin ohjaamo ohjaa nosturin toimintoja kenttäväylän kautta. Suunniteltaessa RTG -nosturin ohjaamoa mallintavaa laitetta voidaan ohjaamon sähköjärjestelmää tarkastella vain kenttäväyläliikenteen näkökulmasta. Tällöin ohjaamon sähköjärjestelmästä tarkasteltavaksi jäävät vain ohjauslaitteet ja niiden apulaitteet. Näiden laitteiden väyläkommunikointi on välttämätön nosturin sähköjärjestelmän kokonaisuuden toiminnalle.

Ohjauslaitteet tuottavat lähes kaikille nosturin toiminnoille ohjauskomennot sähköhuoneen PLC -laitteiston välityksellä. Ohjaamon ohjauslaitteet on kytketty Profibus -väylään. RTG -nosturissa sähköhuoneen Profibus -väylä on yhdistetty ohjaamoon valokuidulla. Valokuituliitännän jälkeen väylä muunnetaan ohjauslaitteiden tukemaan parikaapelilla toteutettuun Profibus -väylään. Kuvassa 2.8 on esitetty ohjaamon ohjaus-

laitteiden periaatteellinen kenttäväylärakenne ja ohjaamon kenttäväylän liityntä sähköhuoneen PLC -järjestelmään.

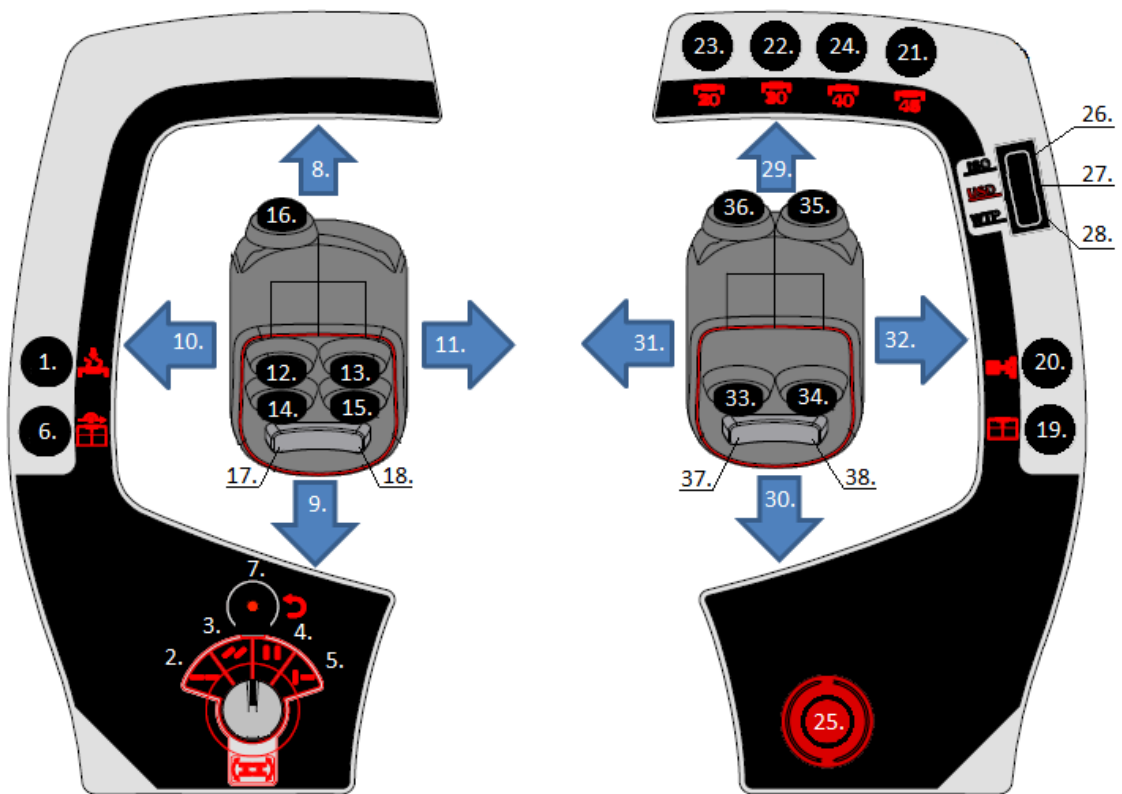


Kuva 2.8. Ohjaamolaitteiston väylärakenne

Kenttäväylään liitettävien laitteistojen pohjalta voidaan selvittää, minkälainen testilaitesimulaattorin perusrakenne kuuluu olla, jotta se simuloisi mahdollisimman hyvin oikeaa ohjaamomallia. Ohjaamon väylärakenne koostuu pääpiirteittäin kahdesta ohjainkonsolista, sähköhuoneen PLC -järjestelmän etäyksiköstä ja signaali-toistimesta.

2.4.2 Ohjainkonsoli

Uudessa ohjaamossa käytetään Profibus väyläliitännäistä moniakseliohjainta. Moniakseliohjain on liitetty käsikonsoliin, joka tukee ohjauksien toimintoja. Ohjainkonsoli on vankka IEC/EN 60947-5-1 -standardin mukainen ohjainlaite sähkölaitekäyttöön. Ohjain on suunniteltu omaksi yksikökseen, ja se mahdollistaa laitteen käytön yleisesti kaikkiin ohjauslaitetta hyödyntäviin nostureihin. Konsolin kaikki toiminnot ovat liitettyinä Profibus -korttiin, joka muuntaa ohjaimen informaation väyläluettavaksi. Ohjaimella on oma väyläosoite, jota voi muuttaa ohjainkonsolin sisältä kiertokytkimillä. Kuvassa 2.9 on esitetty kuva ohjainkonsoleista. [11]



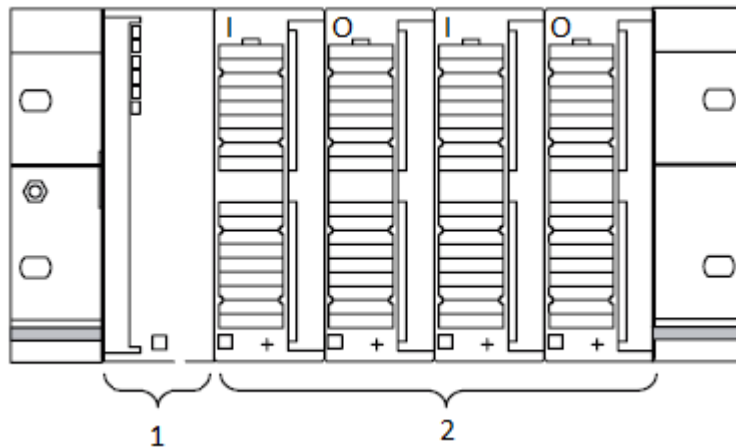
Kuva 2.9. Ohjainkonsolit [11]

Ohjainkonsoli sisältää noin 20 eri toimintoa ja lisäksi optioita toimintojen lisäämiselle. Liittestä 1 voi verrata näitä toimintoja kuvan 2.9 esitettyihin ohjainkonsoleihin. Toiminnoista suurin osa toteutetaan painonapein ja keinukytkimin, jotka ovat yhdistetty ohjainkonsolin I/O:hon. Moniakseliohjaimen liikesuunnat on toteutettu keinukytkimin. Kun ohjainta liikutetaan pysty- tai vaakatasossa, keinukytkin asettaa suuntabitin päälle. Ohjaimen nopeudensäätö toteutetaan Hall -antureilla, jolloin ohjaimen liike muuttaa keinumagneetin kulmaa anturiin nähden. Tällöin anturi muodostaa jännitteen ohjaimen kulma-asennon mukaan. Tämä analoginen signaali vahvistetaan ja muunnetaan digitaalisiksi A/D -muuntimella. Hall -antureilla toteutetusta säädöstä käytetään nimeä ”säätö ilman kontaktia”, ja se nostaa huomattavasti ohjaimen käyttöikää. Nopeustieto esitetään väylän kautta PLC:lle tavun kokoluokalla eli 255 eri porrastuksella. Ihminen ei tunne tämän porrastuksen vaikutusta ohjauksessa, joten voidaan puhua portaattomasta säädöstä. [11]

2.4.3 Etäasema

Ohjaamoon sijoitetut painokytkimet ja indikaatiovalot, joita ei ole kiinnitetty ohjauskonsoleihin, on yhdistetty PLC -järjestelmän etäaseman digitaalikorteille. Ohjaamon

etäasema on moduulinen I/O –asema, ja se toimii Profibus -väylässä väylän orjalaitteena. Etäasemaa voidaan käyttää normaalikäytössä signaalikorteilla ja myös väylän turvalaitteistojen kanssa. Etäasemaan voidaan liittää kahdeksan monikanavasignaalikorttia, joiden kanavamäärä on kuitenkin rajoitettu 64:ään. Asemaan voidaan liittää myös erillinen kommunikointiprosessori muuntamaan väyläsignaalit toisenlaisen väylän luettavaksi. Aseman signaalikortit toimivat prosessin rajapintana. Signaalikortit ja prosessorit voidaan liittää etäaseman DIN -väylään. Etäasema on konfiguroitu sähköhuoneen PLC -isäntälaitteistoon. Kuvassa 2.10 on esitetty ohjaamoon sijoitettu etäasema, joka koostuu kahdesta digitaalisesta tulo- ja kahdesta digitaalisesta lähtösignaalikortista. [12]



Kuva 2.10. Ohjaamoon sijoitettu etäasema

Laite 1. Liittymämoduuli

Laite 2. Kaksi digitaalista tulo- ja kaksi lähtöyksikköä

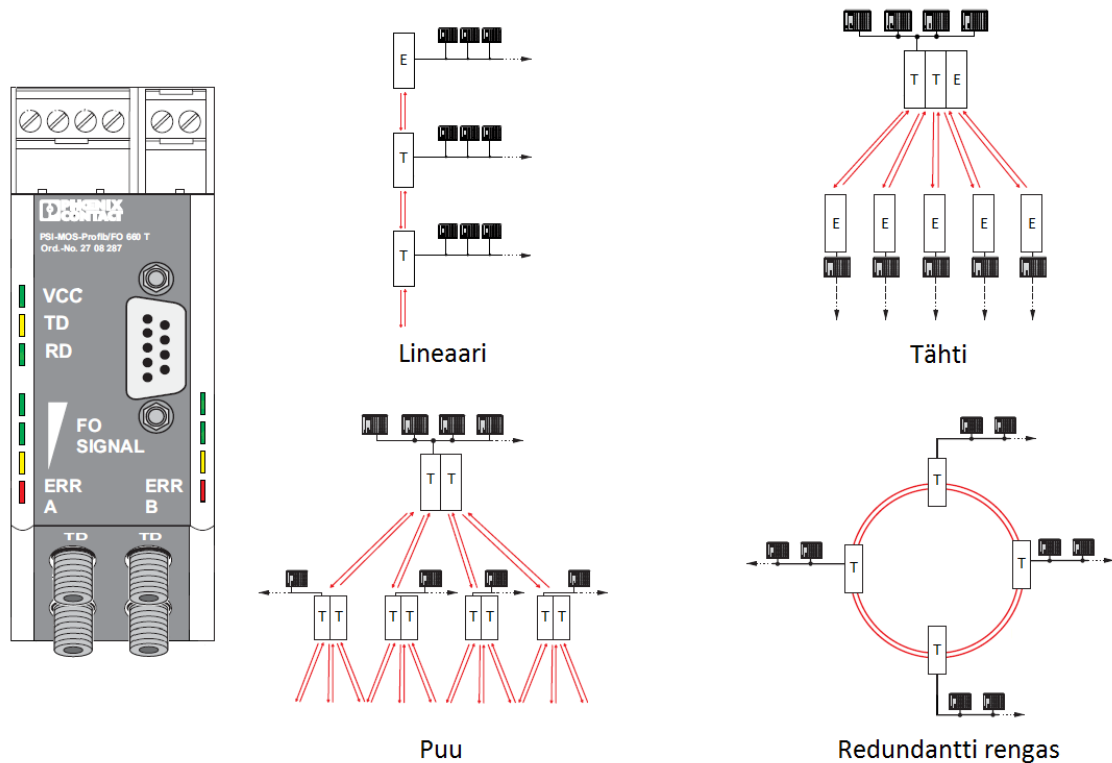
Suurin osa etäaseman painokytkimistä ja indikaatiovaloista on sijoitettuna ohjaamon ohjauspenkin eteen käännettävään konsoliin. Uusien toimintojen sijoittuminen etäaseman I/O -korttien vapaana oleviin ryhmiin säätyy projektikohtaisesti, jolloin toimintojen paikkojen ennustaminen testilaitteen kannalta on mahdotonta. Etäasemaan liitettyjen painokytkinten ja indikaatiovalojen valmiiksi määrättyjen toimintojen I/O -osoitteet löytyvät liitteestä 2.

2.4.4 Valokuitu ja optiset muuntimet

Valokuitu on aaltoputki, jossa informaatio välittyy optisesti lähettävältä laitteelta vastaanottavaan laitteeseen. Valokuitu koostuu ytimestä, reunaosasta ja tukevasta pintamateriaalista. Valo kulkee valokuidun ytimessä heijastuen valokuidun ja reunaosan rajapinnasta. Kokonaisheijastuminen tapahtuu, jos valosäde saapuu rajapintaa pienemmässä kulmassa kun materiaalien muodostama kriittinen kulma on. Tämä asettaa myös ehtoja valokuidun asentamiselle. Valokuitua ei voida taittaa jyrkästi rikkomatta aaltoputkea. Valokuitua käytetään kaikissa RTG -nostureissa, koska se kestää hyvin sähkömagneet-

tista taustasäteilyä. Nostureiden sijoitus satama-alueella altistaa nosturit hyvin korkeatehoiselle tutkasäteilylle. Tämän vuoksi rakenteellisesti erotetut asemat ja niiden välinen väylä liitetään toisiinsa valokuidulla. Valokuituverkko tarvitsee aina optisen signaalimuuntimen liittyäkseen kuparikaapelilla toteutettuun väylään. [13]

Väyläinformaation siirtoon ohjaamosta sähköhuoneelle käytetään optista signaalimuunninta. Signaalimuunnin muuntaa Profibus DP -väylän signaalit valokuituverkoon. Signaalimuuntimen maksimisiirtonopeus on 12 Mb/s ja muuntimen jälkeinen väylä on rajoitettu 31:lle väylälaitteelle. Laitteiden määrää voidaan lisätä jakamalla väylä niin kutsutusta pääväylästä toisilla signaalimuuntimilla. Signaalimuuntimeen on integroitu optinen diagnostiikka. Diagnostiikka tarkkailee signaalin kriittistä kulmaa, ja tunnistaa ongelmatilanteet valokuidussa. Diagnostiikka varoittaa valokuituviasta etukäteen, joka mahdollistaa ohjelmallisen ennakoinnin tapahtumien kululle ennen vikaantumista. Signaalimuuntimien välinen etäisyys voi vaihdella 800 metristä 3300 metriin riippuen valokuidun tyypistä. Kuvassa 2.11 on esitetty optinen signaalimuuntaja ja esimerkkejä eri verkkotopologioista. [13]



Kuva 2.11 Optinen muuntaja [13; 14]

Signaalimuunninta voidaan käyttää erilaisten verkkotopologioiden luomiseen. Eri vaihtoehdot verkkotopologioille ovat linja-, tähti-, puu- ja redundantti rengas -topologia. Signaalimuuntimia valmistetaan suoraan kytkettäviä E- tai T -malleja. T -malli jakaa linjan kahteen suuntaan, joka mahdollistaa väylien jakamisen rinnakkaisiksi järjestelmiksi. Verkkotopologian valitsemiseen vaikuttaa eri signaalimuuntimien sijainti, kustannukset ja verkolle haluttava luotettavuus. [14]

Linjatopologiassa rinnakkaiset väylät on liitetty toisiinsa signaaliuuntimilla. Tällöin tieto kulkee lineaarisesti väylärakenteelta toiselle signaaliuuntimien välityksellä. Linjatopologia soveltuu lineaarisille vedoille verkkoon, jonka ei tarvitse verkkorakenteellisesti luotettava. Vain yhden signaaliuuntimen välisen kuidun katkeaminen johtaa informaatiosiirron katkeamiseen väylien välillä, joka selittää verkkotopologian heikon luotettavuuden. [14]

Tähtitopologiassa signaaliuuntimia kytketään yhteen DIN -väylällä, jolloin samasta paikasta väylä voidaan yhdistää erisuunnissa olevien väylien kanssa. Puutopologia ei juuri eroa tähtitopologiasta. Puutopologiassa yhdistetään tähtimallisia verkkoja yhteen. Näiden topologioiden etuna on materiaalikustannusten pieneneminen, kun väylien välisten valokuitulinjojen välimatkat pienenevät. Puutopologia soveltuu hyvin paikkoihin, joissa väylät on sijoitettu eri puolille nosturia. [14]

Redundantti rengas -topologiassa signaaliuuntimet yhdistetään siten, että valokuituverkko muodostaa renkaan signaaliuuntimien välille. Tämä topologia soveltuu erityisesti paikkoihin, joissa halutaan turvata informaation kulku väylien välillä. Informaation kulkua ei häiritse jos yhden haaran valokuitu katkeaa. Verkon korkea luotettavuuden taso kuitenkin aiheuttaa huomattavia kuluja. Kulut johtuvat suuremmasta kaapeloinnin määrästä, kun signaaliuuntimet ovat sijoitettu hyvin etäälle toisistaan linjaan. [14]

2.5 Ohjaamon testilaitte

Uuteen ohjaamomalliin sijoitettavat ohjauslaitteet pystyvät kontrolloimaan lähes kaikkia nosturin toimintoja. Nosturin päätoimilaite eli PLC lukee ohjauslaitteiden signaalit kenttäväylän kautta. Päätoimilaite käsittelee ohjaussignaalit prosessille tarvittavaan muotoon ja lähettää ohjaukset taajuusmuuttajille. Taajuusmuuttajat kontrolloivat näiden ohjauksien kautta sähkömoottoreita, jotka tuottavat nosturin toimintojen liikkeitä. Päätoimilaite lukee taajuusmuuttajien tilainformaatiot, jotka toimivat laitteiston takaisinkytkentänä prosessien ohjauksen asettamiseen.

RTG -nosturin sähkö- ja ohjausjärjestelmän tarkastelun jälkeen voidaan todeta, että Smart Cabin -mallinen ohjaamo voidaan korvata testilaitteella. Jotta testilaitte sopisi nosturin päätoimilaitteelle ohjelmoituun väylärakenteeseen ja sen avulla voitaisiin varmistaa ohjausjärjestelmän täydellinen kokoonpano ja toimivuus, tulee testilaitteen väylärakenteellisesti vastata ohjaamo.

Testilaitteeseen voidaan asentaa oikean ohjaamon väylään kuuluvat laitteet, jolloin testilaitte pystyy tuottamaan kaikki tarvittavat ohjaussignaalit päätoimilaitteelle. Testilaitteen väylärakenteeseen voidaan lisätä laitteistoja, jotka asettavat rajapinnan testausta kehittäville toiminnoille. Testilaitteen on kyettävä ohjaamaan nosturin väylälaitteita ja keräämään niiltä informaatiota. Nosturin päätoimilaitteen ja muiden väylälaitteiden kommunikaation ymmärtäminen laitteistoja lisättäessä ja ohjattaessa on välttämätöntä. Näiden laitteistojen kommunikaation ja toiminnan ymmärtämiseksi luvussa

kolme käsitellään kenttäväyläkommunikaation ja PLC -ohjelmiston rakennetta sekä toimintaa.

3 PLC:N JA KENTTÄVÄYLÄN TOIMINTA

Nosturin ohjausjärjestelmän tärkeimpänä informaation jakeluverkostona toimii eripuolille nosturia ulottuva kenttäväylä, joka johtaa väyläviestejä nosturin toimilaitteiden välillä. Uuden ohjaamomallia simuloivan testilaitteen kannalta on tärkeää ymmärtää kenttäväylän rakenteelliset peruskohdat, väyläviestintämahdollisuudet kenttäväylään liittyessä ja nosturin päätoimilaitteen toiminta. Nämä ovat ohjaamosimulaattorin kehityksen kannalta oleellisia, koska simulaattorin on kyettävä toimimaan osittain samalla väylällä nosturin päätoimilaitteen kanssa. Väyläliitännän tapa tulee määritellä hyvin alkuvaiheessa kehitystyötä, koska se määrittelee suurelta osin ohjaamoja simuloivan testilaitteen rakennetta sähköisesti ja toiminnallisesti. Tämän luvun lopussa kappaleessa 3.3 kerrotaan kaksi erilaista tapaa liittyä väylään nosturin päätoimilaitteen kanssa.

3.1 Kenttäväylä, Profibus DP

Profibus DP -väylä on tarkoitettu standardin EN 50170 -mukaisien kenttälaitteiden kommunikointiin. Profibus käyttää yhdeksänpinnistä liitintä tai 12 mm:n pikaliitintä. Liittimet mahdollistavat väylän katkaisemisen impedanssikatkaisimella, ja lineaarisesti toteutettu väylä kuuluu katkaista molemmista päistä impedanssikatkaisemisella. Tämä estää signaalin heijastumisen väylällä. Väylän pituus on maksimissaan noin 24 km:ä, johon on mahdollista päästä signaalintoistimilla ja valokuitutekniikalla. Lähetyksenopeudet väylällä vaihtelevat 9600 b/s ja 12 Mb/s välillä väylän pituuden mukaan. RTG -nosturissa usein väylä jää alle 100 metrin pituiseksi, jolloin väylän nopeudeksi voidaan asettaa teoriassa 12 Mb/s. Käytännössä tämä siirtonopeus on rajoitettu nosturikäytössä 3 Mb/s:ssa, koska on haluttu varmistaa väylän toiminta kaikissa väylän toimintapisteissä. Väylän viestiliikenteessä jokaisen laitteen lähettämä yksi viesti voi olla pituudeltaan maksimissaan 244 bittiä. Tämän viestin lisäksi väylällä voi liikkua samaan aikaan niin kutsuttu laitteiden kysely ja valtuuksien vaihto. [10, 15]

Laitteiden syklinen tiedonsiirto muodostaa laitteiston kommunikaation Profibus DP -väylällä. Kommunikaatio toimii alistamalla oheislaitteita päätoimilaitteen toiminnalle. Profibus -väylän kommunikaatiossa vain yksi laite voi kommunikoida väylällä vuorollaan. Tätä kommunikaatiotapaa kutsutaan Isäntä/Orja -kommunikaatioksi. Profibus DP tukee yhdellä tai usealla isäntälaitteella toteutettuja järjestelmiä. Näistä jälkimmäisessä järjestelmässä viestintä voi toimia isäntälaitteiden valtuuksien vaihdon välityksellä. [16; 17]

3.1.1 Kenttäväylällä kommunikointi

Kenttäväylän isäntälaitteita kutsutaan väylän päätoimilaitteen lisäksi myös DPM1 -laitteeksi (engl. DP -master Class 1) ja se toimii keskeisenä ohjaimena väylällä. DPM1 -laite vaihtaa informaatiota hajautettujen laitteiden kanssa tietyn viestisyklin mukaisesti. Viestisykli muodostuu DPM1 -laitteen ohjelmarakenteen mukaisesti. Tyypillisiä DPM1 -laitteita ovat ohjelmoitavat logiikkayksiköt (lyh. PLC) ja tietokoneet (lyh. PC). DPM1 -laitteella on aktiivinen väyläyhteys, jolla se voi lukea mittausininformaatiota kenttälaitteilta ja kirjoittaa käskyjä väylän toimilaitteille. Tämä tarkoittaa sitä, että DPM1 -laite ohjaa väylän toimintaa lähettämällä viestejä väylälle ilman erillistä käskyä toimiakseen. Jatkuvasti toimiva sykli on lähtökohta kaikille automatisoiduille toiminnoille. [17]

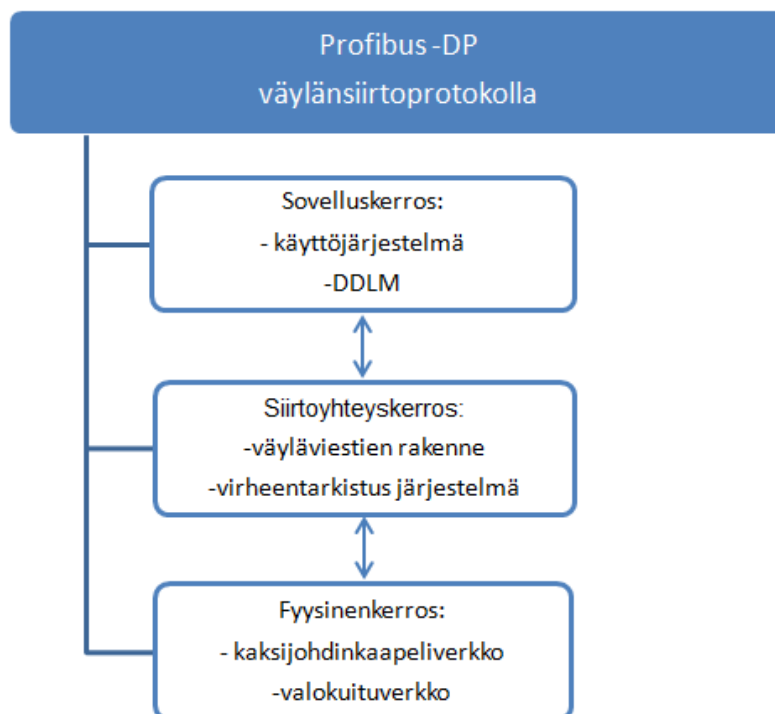
DP -orjalaitteet ovat oheislaitteita, jotka lukevat prosessi-informaatiota ja käyttävät ulostulojaan vaikuttamaan prosessiin. Tyypillisiä oheislaitteita ovat I/O -laitteet, ohjatut venttiilit, taajuusmuuttajien ohjauslaitteet, muuntajat ja analyysilaitteet. Oheislaitteisiin kuuluu myös etäasemat, joiden signaalikortit käsittelevät sisään- tai ulostuloinformaatiota. Kommunikaation puolesta oheislaitteet ovat passiivisia laitteita, joka tarkoittaa että orjalaitteet vastaavat vain suoriin kyselyihin. Kommunikaatiotapa määrittelee nämä laitteet ja laitteistot orjalaitteiksi. DPM1 -laitteella voi olla useita orjalaitteita viestisyklissään. Näin laitejärjestelmät saadaan kytkennöiltään yksinkertaisiksi ja kustannustehokkaiksi. [16]

Isäntien ja orjien sijainti väylällä ei haittaa kommunikaatiota signaalin toistuessa koko väylällä. Tämän johdosta jokaiselle laitteelle asetetaan oma väyläosoite, jolloin viesti tunnistetaan vain oikeassa laitteessa. Laitteille ei saa asettaa samaa osoitetta. Kahden saman osoitteen löytyminen väylältä aiheuttaa kommunikaatiovirheen, jolloin väylä siirtyy vikatilaan. Lisäksi väylän oheislaitteiden väyläosoitteet asetetaan isäntä -laitteen ohjelmistoon. Profibus protokolla tukee väyläosoitteita väliltä 0 ja 127. 0 osoitetta käytetään vakioituna osoitteena ohjelmointi-, diagnostiikka- ja verkkotoimintojen käyttöön. Osoitteisiin 1 – 125 voidaan asettaa väylälaitteita. Väyläosoitteiden alkupään osoitenumerot pyritään varaamaan isäntälaitteille ja niiden jälkeen tulevat numerot orjalaitteille. Väyläosoite 126 on varattu uuden orjalaitteen ohjelmalliselle asennukselle. Tällöin orjalaitte on asetettu väyläosoitteeseen 126, josta se muuttaa ohjelmallisesti osoitteeseen ohjatun väyläosoitteen. Isäntälaitteet käyttävät väyläosoitetta 127 globaalin informaation lähettämiseen. Tähän väyläosoitteeseen tuleva viesti ei vaadi vastausta. Väyläosoitteiden lukumäärä rajoittaa väylän laitteet lukumäärään 125, mutta se ei estä verkoston laajentamista väyläyhdistimillä tai -kytkimillä. Väyläyhdistimet ja -kytkimet toimivat orjalaitteena väylällä ja ne toimivat eräänlaisina muistitilana kahden väylän välillä. Tämä tosin vaatii joka väylälle oman DPM1 -laitteen. Väyläkytkimien toimintaa käsitellään enemmän kappaleessa 3.3.2. [15; 16]

3.1.2 OSI-malli

Profibus DP hyödyntää tunnettua seitsemänkerroksista OSI -mallia (engl. Open Systems Interconnection). Tämä malli kuvaa tiedonsiirtoprotokollien kerrosten yhteistyötä toisten kerrosten kanssa. Kerrosrakenteessa eri kerrokset määrittävät tiedonsiirtorakenteen eri osa-alueen. Kerrokset alimmasta luettuna ovat fyysinen kerros, siirtoyhteys-, verkko-, kuljetus-, istunto-, esitystapa-, ja sovelluskerros. Jokainen kerros käyttää alemman kerroksen palveluja ja tarjoaa niitä ylemmälle kerrokselle, mutta viestiprotokollan muodostaminen ei vaadi kaikkien kerrosten käyttämistä.

Profibus DP -standardi käyttää kolmea OSI -mallin kerrosta. Nämä kerrokset ovat sovellus-, siirtoyhteys- ja fyysinen kerros. Kuva 3.1 havainnollistaa Profibus DP -protokollan käyttöä väylän laitteissa. [17]



Kuva 3.1. Profibus DP protokollan kerrokset

Muita väylätekniikoita käyttävä laite voidaan liittää Profibus väylään protokolla muunninportin kautta. Nämä muuntimet toimivat molemmissa väylissä eri protokollatasolla ja muuntavat viestejä väyliä välillä. Profibus DP protokollan ainut tehtävä on määrittää käyttäjätiedon kulku asemien välillä ilman tietojen käsittelyä.

Fyysinen kerros muodostaa tiedonsiirtoon käytettävät sähköiset ja mekaaniset osat väylällä. Yleisesti sähköiset ja mekaaniset osat tarkoittavat, että verkko koostuu kaksijohdinkaapeliverkosta ja optisesta valokuituverkosta. Nämä luovat fyysisen Profibus -verkon. Verkot tarvitsevat signaalin muuntimia kaapeliverkon ja valokuituverkon välillä. [17; 18]

Toinen käytettävä kerros ISO -mallista on siirtoyhteyserros, joka luo mallin väliyhteydelle ja loogiselle käyttöyhteydelle. Tämä tarkoittaa todellisten viestikehysten

lähetystä ja vastaanottoa. Looginen käyttöyhteys tarkoittaa toimintoja, joilla voidaan tarkastaa tiedon yhtenäisyyttä ja tarkistussummien oikeellisuutta. Loogisella käyttöyhteydellä voidaan kuvata asiatiedon normaaleja turvallisuustoimenpiteitä ja asiatiedon vapaita kommunikaatiopalveluita. Tämä sisältää kokonaisuudessaan erilaisten väyläviestien rakenteen, sisällön ja virheentarkistusjärjestelmän sekä laitteiden välisen kommunikaation säännöt. Siirtoyhteyskerrosta kutsutaan myös FDL -kerrokseksi (engl. Field Data Link). Siirtoyhteyskerros muun muassa määrittää, milloin laite voi lähettää informaatiota väylällä. [17]

Sovelluskerroksen tarkoituksena on toimia väylää käyttävän ohjelman ja siirtoverkon välisenä yhteytenä. Sovelluskerros käsittää laitteen rajapinnan käytölle. Sovelluskerros viestii alemman kerroksen kanssa kartoitussovelluksella. Kommunikaation näkökulmasta sovelluskerros sisältää kaikki ohjelmat, resurssit ja tehtävät joita ei ole osoitettu kommunikaatiokerrokselle.

Väyläkommunikaation rakenne mahdollistaa kombinaation hajautetuista ohjelmistoista samassa prosessissa käyttäen kommunikointisuhteita. Tämä yhdistää hajautettujen laitteiden ohjelmistot samaksi prosessiksi. Se osa sovellusprosessista väylän kenttälaitteessa, jota voidaan käyttää väylä kommunikaation välityksellä, kutsutaan virtuaaliseksi kenttälaitteeksi. Laitteiston objekteja ovat kaikki muuttujat, ohjelmat ja arvoalueet. Niitä objekteja, joita pystytään ohjaamaan ja lukemaan väylän välityksellä, kutsutaan kommunikaatio-objekteiksi. Todellinen ja virtuaalinen laite sisältää kaikki kommunikaatio-objektit, jotka päivittyvät sovelluskerroksen välityksellä. [17]

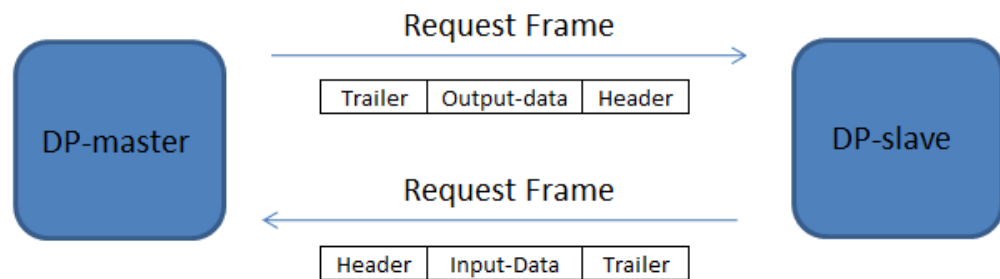
3.1.3 Väyläviestien rakenne

Väyläviestit on rakennettu takaamaan väyläkommunikaation häiriönsietokykyä. Häiriönsietokyky viesteille saadaan aikaan väyläviestin aloitus- ja lopetuserottimilla, kuitisynkronisaatiolla sekä samankaltaisuus- ja tarkistusbiteillä. Nämä kuuluvat IEC 870-5-1 -standardiin.

Väyläviestin häiriönsietokykyä voidaan mitata viestin Hammingin etäisyydellä, joka kuvaa viestin mahdollisuutta vaihtua vääräksi. Profibus -standardin mukaisille väyläviesteille Hammingin etäisyys on 4. Tällöin neljä bittiä pitää vaihtua vääräksi ja vastata tarkistussummaa, jotta vääristynyt viesti ymmärretään oikeaksi. [19] Jos vastaanottaja havaitsee häiriöiden havaitsemismenetelmillä, lähetetty viesti hävitetään. Lähettäjä uusii viestin automaattisesti pienen odotusajan jälkeen. Vastaanottaja kuittaa viestin välittömästi, jos viesti havaitaan oikeaksi. Jos lähettäjä joutuu uusimaan viestin yli kolme kertaa, väylälaite huomataan vialliseksi. [16]

Väyläviestit koostuvat eri tietokentistä, jotka on jaoteltu viestityypin tunnistukseen SYN (engl. Synchronisation Time), SD (engl. Start Delimiter) tai SC (engl. Short acknowledge), kohteen väyläosoitteeseen DA (engl. Destination address) ja lähettäjälaitteen väyläosoitteeseen (engl. Source Address), viestin pituuteen LE (engl. Length) ja LER (engl. repeated Length), kehyksen ohjaukseen ja varsinaisen käsky- tai tiedusteluviestin varsinaiseen siirrettävään tietoon FC (engl. Frame Control) ja FCS (engl. Frame

Check Sequence) ja lopetukseen ED (engl. End Delimiter). Kuvassa 3.2 on esitetty väyläviestien rakenne Profibus DP isäntä-orja kommunikaatiossa ja viestien tietokenttien kehyksissä. [16, 17]



Frames:

Frame with variable length:

SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DU (= 1 - 246 bytes)	FCS	ED
-----	----	-----	-----	----	----	----	----------------------	-----	----

Frame without data:

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED
-----	----	----	----	-----	----

Token frame:

SD4	DA	SA
-----	----	----

Short acknowledge:

SC

Kuva 3.2. Väyläviestien rakenne.

Väyläviestit ovat rakenteeltaan samanlaisia ja ne voidaan jakaa neljään eri viestityyppiin: SD1, SD2, SD4 ja SC. Viestityyppi SD1 on tarkoitettu laitteen tilan tiedusteluun ja tiedustelun kuittamiseen. Viestityyppi SD2 on tarkoitettu informaation siirtoon väylällä ja SD4 -viestityyppiä käytetään valtuuden luovutusverkossa valtuuden siirtämiseen isännältä toiselle. Valtuuden luovutusverkko käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.3.1. Viestien kuittamiseen voidaan käyttää lyhyttä SC -viestiä. [16]

3.1.4 Taajuusmuuttajan väyläviestin kehys

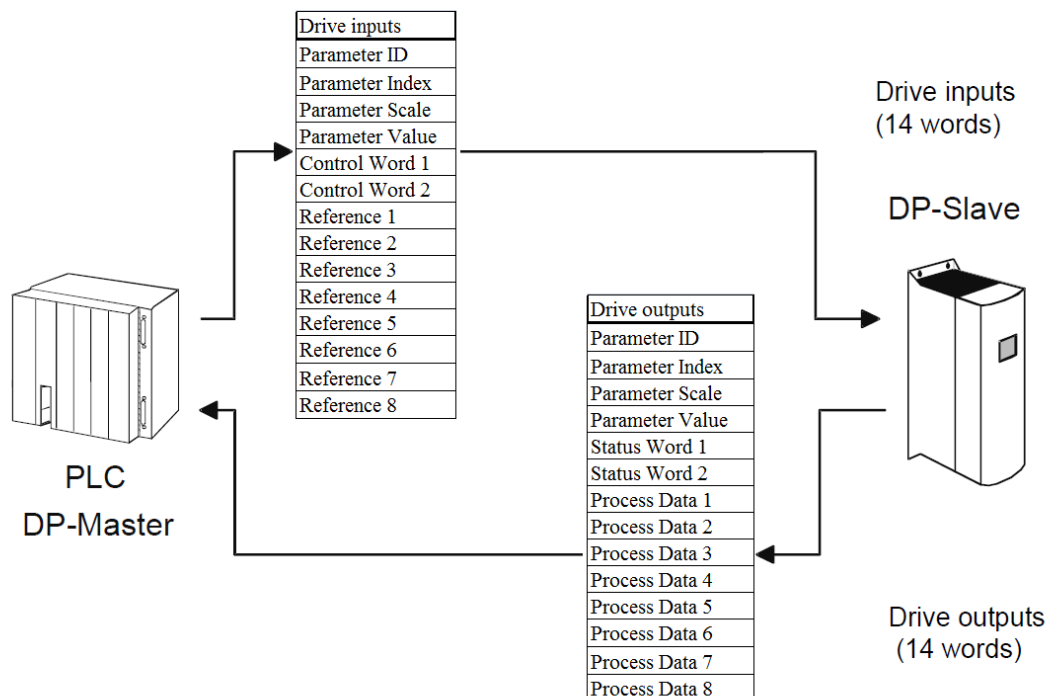
Nosturin väylän isäntälaitteena toimii PLC -laitteisto. Taajuusmuuttajien ohjausyksiköt ja muut väylään kytketyt oheislaitteet toimivat orjina. Muuna oheislaitteena voi toimia toinen PLC -laitteisto.

Profibus -protokolla määrittää miten informaatio välittyy väylää pitkin kenttälaitteiden välillä. DP -isäntä käsittelee siihen liitettyjen oheislaitteiden muistin virtuaalisena I/O-avaruutena. Tämä tarkoittaa, että liitetyillä laitteistoilla on virtuaaliset muisti-alueet DP -isännän muistissa. Virtuaalimuistiin viittaamalla ohjelma voi kerätä tietoa

laitteistoista lataamalla muistialueita. Muistialueiden informaatio siirretään alueelle laitteistoilta väyläviesteillä. Muistialueet jakaantuvat sisään tuleviin ja ulos lähteviin.

Taajuusmuuttajien ohjausyksiköt käsittelevät suuria määriä informaatiota, joten informaation käsittelyä on helpotettu kehittämällä viestiprofiili eri käyttäjätiedoille. Ohjausyksiköt käyttävät profiilinaan mukautettua profiilia taajuusmuuttajille kehitetystä PROFIDRIVE profiilista. Välitettävän käyttäjätiedon I/O -avaruuden paikkaosoite määritellään profiilissa, jonka taajuusmuuttajien valmistajat ovat yhdessä muodostaneet. Profiili määrittää ohjaimen perustoiminnot ja antaa mahdollisuuden ohjauslaitteiden erikoisuuksille ja laajennuksille. Profiili määrittelee tiedon muodon viidellä eri PPO -tyypillä.

PPO on lyhenne englannin kielen sanoista Parameter-Process data Object, joka tarkoittaa vapaasti käännettynä parametri-prosessi -oliota. D2C/D2H -ohjausyksiköt käyttävät aina PPO5 -tyyppiä kommunikaatiokehyksenä. Tämä kommunikaatiokehys pitää sisällään 14 sanaa ja sanat on jaettu kolmeen ryhmään. Sana koostuu kahdesta tavusta ja tavu kahdeksasta bitistä. Tällöin yhteenlaskettu tiedontallennuksen kapasiteetti on 224 bittiä. Ohjausyksikön väylältä luettavien käskyjen kehyksien ryhmät ovat parametrien tunnistetiedot, käskysanat (engl. control word) ja referenssisanat (engl. reference word). Ohjausyksikön vastaus käskysanoihin ovat ryhmitelty parametrien tunnistetietoihin, tilasanoihin (engl. status word) ja prosessitiedon sanoihin (engl. process data word). [8] Kuvassa 3.3 on havainnollistettu väyläkommunikaatioon käytettyjen profiilien toiminta.



Kuva 3.3 Viestikehysten kulku väylällä

Taajuusmuuttajien ohjausyksiköistä voidaan vaihtaa tarvittavien tietalueiden tyyppiä ja määrittää mitä ne sisältävät. Näitä vaihdettavia tietalueita ovat kuvan 3.3 mukaisista Reference 2 -sanasta Reference 8 -sanaan ja Process data 1 -sanasta Process data 8 -sanaan. Vaihto tapahtuu ohjauslaitteiden omista asetusparametreista.

PLC DP -master voi lähettää neljän tyyppisiä käskysanoja ohjausyksiköille. Näistä kaksi ensimmäistä on valmiiksi kiinteästi profiilissa ja kaksi pitää määrittää erikseen referenssi-sanalla paikalle. Käskysanojen kautta ohjausyksikkö tekee tarvittavat toimenpiteet toteuttaakseen komennot. Käskysanan bitit pitävät sisällään ON/OFF -mallisia käskyjä. Nämä käskyt tarkoittavat tietyn toiminnon tilakomentoa ohjausyksikölle. Näitä komentoja ovat esimerkiksi suuntien, nopeusrajoitusten ja muiden toimintojen ohjaaminen. Lisäksi ohjausyksikköön voidaan antaa väylää pitkin analogisia referenssisanoja, jotka sisältävät tietyn arvon. Esimerkiksi nopeusohjeet ja muut luvuilla kuvatut arvot siirretään taajuusmuuttajalle referensseinä. Ohjausyksikkö käyttää referenssejä säätämään taajuusmuuttajan toimintaa. [9]

PLC DP -master voi ladata neljän eri statussanatiedot. Näistä 1 on kiinteästi ohjausyksikön profiilissa ja kolme voidaan valita prosessisanatien paikalle. Nämä sisältävät ON/OFF -tietoja ohjausyksikön toimintojen tilasta. Prosessitietosanaan voidaan valita analogiatietoja tai lukuarvoja niistä toiminnoista, joita pystytään mittaamaan. Analogisia tietoja ovat esimerkiksi moottorin nopeus, momentti, moottorinjännite ja useita muita tietoja taajuusmuuttajan toiminnoista. Näiden kautta nosturin päätoimilaite saa informaatiota prosessista, minkä perusteella se voi tuottaa ohjelmakoodin mukaisia reaktioita eri tilanteisiin. [9]

Tila- ja referenssisanat ovat 16 bittiä pitkiä. Tämä rajoittaa siirrettävän tiedon tarkkuutta. Sanalla pystytään kuvaamaan vain 65536 eri lukuarvoa, jolloin tiedon tarkkuus rajoittuu tähän lukemaan. Tämän vuoksi siirrettävä informaatio skaalataan tietylle alueelle, jota käytetään tiedon tulkinnassa. Näin saadaan siirrettyä informaatiota tehokkaasti. Skaalauksen tarkkuus saadaan laskettua siirrettävälle suurelle jakamalla siirrettävien arvojen muutosväli skaalauksen suurimmalla lukuarvolla. Skaalauksen suurin lukuarvo on kaikkien niiden lukuarvojen määrä, joita tallennustilalla voidaan esittää. [9]

3.2 PLC:n toiminta

PLC -laitteisto toimii syklisesti toistaen ohjelmistorakennettaan ja toimintojaan. PLC -laitteiston asentamisen aikana käyttäjä määrittää DP -orjalaitteen tehtävän isäntälaitteelle. Määrittämiseen kuuluu myös todentaa laitteistolle mitkä DP -orjalaitteet kuuluvat minne isäntälaitteen piiriin viestisyklin aikana. Parametrisointi- ja asennusvaiheessa jokainen orjalaite tarkistaa tehtävämäärittelyn ja vertaa sitä omiin asetuksiinsa. Näiden tietojen tulee vastata toisiaan. Tehtävämäärittelyn tarkistus ehkäisee käyttäjän luomia virheitä jo asennuksen yhteydessä.

Kaikkien laitteiden tilatiedot tallennetaan PLC -laitteiston muistiin ohjelmakierroksen alussa. Näin muodostuu ohjelman nopeasti käytettävä kenttälaitteiden virtuaalinen

muisti. Tähän virtuaalisen ohjelmamuistiin voidaan ohjelmassa viitata suoraan kenttäväylälle määritettyjen osoitteiden kautta. Virtuaalinen muisti ei sisällä mitään lisätietoa informaation rakenteesta tai merkityksestä. Esitysmuoto informaatiolle annetaan sen muistialueen lukemisen jälkeen sitä tallennettaessa ohjelmamuistiin. Esitysmuoto antaa ohjelmakierrossa tiedon siitä, miten informaatiota kuuluu tulkita. Erilaisia esitysmuotoja ovat esimerkiksi kokonaislukujen ja liukuvien lukujen binäärinen tulkinta. Esitysmuoto määrittelee myös sen, miten paljon kyseiselle informaatiolle on varattu tilaa muistista. Väylälaitteen valmistaja valitsee laitteelle tallentuvan informaation tulkinnan, mutta informaation lukemisen jälkeen sen muotoa voidaan tarvittaessa vaihtaa.

Virtuaalimuistin käyttö informaation lukemisessa nopeuttaa huomattavasti ohjelmakiertoon kuluvaan aikaan verrattuna siihen, että informaatio luettaisiin väylälaitteelta. Väylälaitteen samaan informaation muistipaikkaan voidaan nosturin ohjelmakierrossa viitata useita kertoja. Tällöin väyläkommunikaatio keskeyttää ohjelmakierron jokaisen informaatioviittauksen kohdalla tehden ohjelmakierrosta hitaan. Tiettyjen tilatietojen kohdalla virtuaalisen muistin käyttö ei ole järkevää, koska informaatio saattaa tietyissä prosesseissa vanheta ohjelmakierron aikana. Näitä tilatietoja käytetään prosesseissa joiden arvoja täytyy kontrolloida suuremmalla näytteenottotaajuudella kuin ohjelmakierto kulkee. Tällöin näiden prosessien kohdalla voidaan laitteiden reaaliset arvot lukea suoraan väylältä niin kutsutuista periferiaosoitteista. Tämä menettely hidastaa ohjelmakiertoa huomattavasti verrattuna virtuaalisen muistin käyttöön, ja sen vuoksi on suositeltavaa käyttää virtuaalista muistia silloin, kun se on mahdollista. Ohjelmakierron aikana voidaan myös vaikuttaa laitteiden ulostuloihin. Tämä tapahtuu suorana vaikutuksena keskellä ohjelmakiertoa periferiaosoitteilla tai virtuaalisen muistin kautta. Virtuaalinen muisti päivitetään väylälaitteille ohjelmakierron lopussa.

RTG -nosturin ohjelmakierrossa PLC -laitteisto hallinnoi kaikkia nosturin päätoimintoja, joita ovat tilatietojen päivitys virtuaalimuistiksi, toimintojen tilojen tarkistus, ohjaustoimintojen käsittely ja siirto taajuusmuuttajille ja historiatietojen keräys. Näiden toimintojen toteuttamiseksi ohjelmisto tarvitsee loogisten toimintojen lisäksi huomattavasti informaation matemaattista käsittelyä. Toiminnot koostuvat osittain automaattiorakenteista, jotka rajoittavat nosturin vääränlaista käyttöä ja muokkaavat ohjaussignaaleista sopivia niitä koskeviin tilanteisiin. Nosturin päätoimintojen lisäksi nosturiin on mahdollista asentaa lukuisia sivutoimintoja nosturin ohjaamisen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi. Näitä toimintoja ovat esimerkiksi GPS -ajolinjan korjaus, suojarajat pukin liikkeille ja noston aputoiminnot. Nosturin PLC -ohjelmiston päätoiminnot ovat havainnollistettu taulukossa 3.1.

Pääohjelman toimintojen kutsu	Selvennys
Laitteiden tilojen luku:	<ul style="list-style-type: none"> ◦ tarkistaa väylän ja lukee laitteistot (virtual image) ◦ siirtää lukuarvot taulukoihin ◦ paljastaa laiteviat
Toimintojen tarkistus:	<ul style="list-style-type: none"> ◦ tarkistaa sähköjärjestelmästä I/O -kortteille tulevat kytkennät ◦ paljastaa sähköjärjestelmän toimivuuden ◦ vakavissa vikatilanteissa sulkee pääkontaktorin ◦ sulkee taajuusmuuttajien vikatilanteissa liikkumisen toiminnot
Ohjaus:	<ul style="list-style-type: none"> ◦ tulkitsee ohjauskäskyt taulukoista ◦ skaalaa ohjauksen ohjeet halutulle asteikolle ◦ tarkistaa alueet: onko ohjearvo halutun mukainen vai ollaanko esim. hidastus alueella
Taajuusmuuttajat:	<ul style="list-style-type: none"> ◦ käsky- ja prosessisanojen vaihto ◦ antaa ohjauksen skaalattuna referenssinä ◦ päivittää taajuusmuuttajilta tulevat tiedot taulukoihin
Historiatiedot:	<ul style="list-style-type: none"> ◦ kerää historia ja aikatiedot taulukoihin ◦ helpottaa vianetsintää ja korjausta ◦ siirtää vikatilanteissa vikatiedot paneeleille

Taulukko 3.1. PLC -ohjelmiston päätoiminnot ja niiden kuvaus

Ohjelmointi tehdään yrityksessä IEC -standardin 61131-3 mukaisesti käyttäen standardin mukaisia kieliä. Ohjelmiston rakennetta pystytään muuttamaan kesken ajon, mikä ehkäisee osittain ohjelmiston korjauksen tai huollon aiheuttamia kustannuksia. Konecranes käyttää useiden valmistajien PLC -laitteistoja. Näiden laitteistojen ohjelmointityökalut vaihtelevat käytettävän PLC -laitteiston mukaan.

Profibus -laitteet sisältävät eri ominaisuuksia ja laitteet käyttäytyvät eri tavalla väylällä. Laitteistot pitää määritellä isäntälaitteelle, jotta ne pystyttäisiin liittämään suoraan Profibus -kenttäväylään. Yksinkertaisen kommunikaatiokonfiguraation luomiseksi on kehitetty laitteistoa määrittelevä tiedosto laitteiston kuvaamiseksi ja yhteyden luomiseksi. Tätä tiedostoa kutsutaan GSD -tiedostoksi (engl. Generic Station Description). GSD -tiedostot mahdollistavat eri valmistajien laitteiden helpon kytkeytymisen Profibus -verkkoon. GSD -tiedosto on kuin elektroninen datalehti PLC -laitteelle. GSD on ASCII -muotoinen tekstitiedosto. Laitetta määritteleviä avainsanoja on pakollisia ja vaihtoehtoisia. Avainsanat määrittävät laitteen toiminnan sen omissa rajaehdoissa. Nämä määrit-

tävät laitteen väyläasetukset, kuten monitorointiajat ja siirtonopeudet, isäntälaitteelle. GSD -tiedoston kuuluu olla yhtä luotettava kuin laitteen toiminta.

Orjalaitteessa voi olla vikatilanteen tunnistuksen ja suojauksen mahdollisuus. Tämä ominaisuus mahdollistaa orjalaitteen käyttäytymisen määrittelyn väylävirian aikana. Ilman suojausta toimiva laite voi väylävirian aikana aiheuttaa prosessille ja prosessin läheisyyteen vaaratilanteita. Suojattu laite voidaan ohjata prosessin kannalta oikealla tavalla pois päältä.

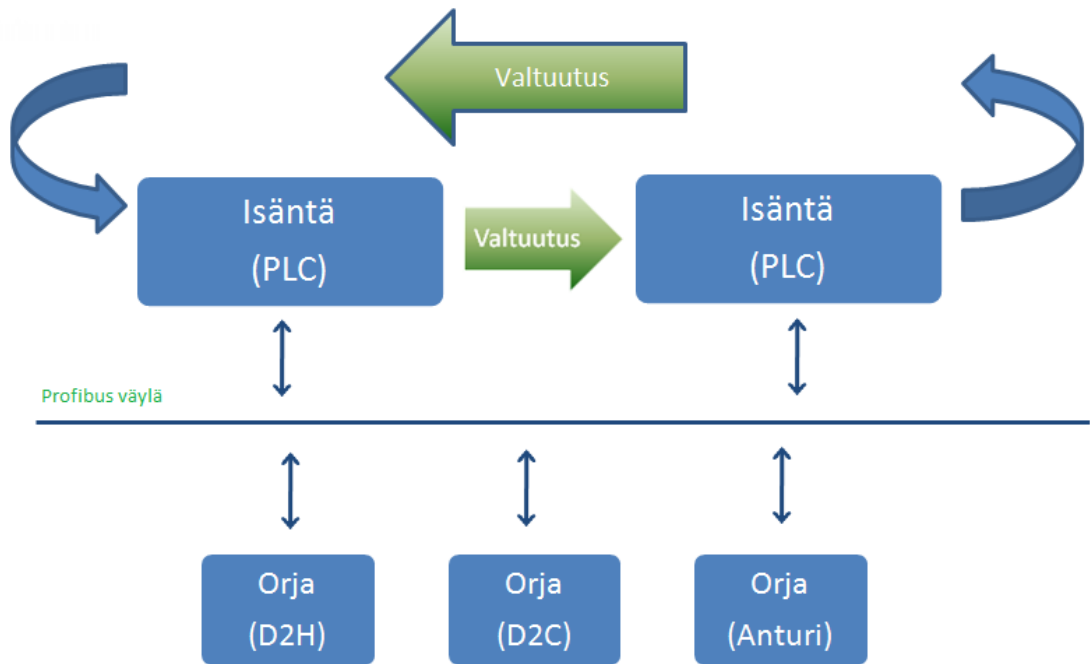
3.3 Kahden DP -isännän välinen kommunikointi

Profibus -standardi tukee kahta väyläkommunikointitapaa, joita ovat valtuuden luovutus ja kysely. Näitä kahta tapaa käyttäen kaksi isäntälaitetta voi kommunikoida väylällä. Valtuuden luovutuksessa samalla väylällä voi toimia useita isäntälaitteita. Tällöin isäntälaitteiden toiminta väylällä vuorottelee sen mukaan, millä laitteella on hallussaan valtuus. Kyselyllä tarkoitetaan isäntälaitteen ja orjalaitteen kommunikaatiosuhdetta. Pelkästään kyselyyn perustuvalla kommunikoinnilla voidaan kaksi isäntälaitetta liittää toisiinsa väyläkytkimen avulla. Tällöin kytkin toimii kahden väylän orjalaitteena, joka pystyy toimimaan informaation säilytyspaikkana molemmille väylille.

3.3.1 Valtuuden luovutus

Valtuuden luovutus mahdollistaa useiden isäntälaitteiden kommunikaation yhteisellä väylällä. Kaksi isäntälaitetta ei voi toimia väylällä sekoittamatta toistensa viestejä. Samanaikainen toiminta aiheuttaa väylän tukkeutumisen ja johtaa yhteyden katkeamiseen. Tätä varten valtuuden luovutuksessa käytetään ohjelmistovaltuuden siirtoa isäntien välillä, jolloin valtuuden pitäjä on ainut isäntälaitte, joka voi kommunikoida väylällä. Valtuus toimitetaan isännältä toiselle nousevan väyläosoitejärjestyksen mukaan. Tämä muodostaa loogisen ringin isäntien välille, vaikka fyysisesti valtuus siirtyy normaalisti väylällä.

Orjalaitteet eivät voi kommunikoida keskenään väylällä, vaan kommunikaatio tapahtuu aina valtuuden omaavan isäntälaitteen kautta. Kuvassa 3.4 on esitetty esimerkiksi kahden isäntälaitteen Profibus DP -väylätopologiasta, jossa kaksi isäntää ja kolme orjaa on kytketty toisiinsa väylällä. Isännät ovat kytkeytyneet toisiinsa valtuuden luovutusverkolla. Verkko on loogisen ohjelmistovaltuuden luovuttamisen verkko väylällä. Isäntälaitteet ohjaavat vain omia orjalaitteitaan, ja tämä ehkäisee ohjelmallisilta sekaannuksilta. Tämä tarkoittaa, että valtuuden saaneet isäntälaitteet toimivat vain omien orjalaitteiden kanssa, kuten kuvan 3.4 tapauksessa, jossa toinen isäntälaitte ohjaa kahta orjalaitetta ja toinen isäntälaitte ohjaa vain yhtä orjalaitetta. [17]



Kuva 3.4. Valtuuden luovutus

Valtuuden luovutuksessa valtuus luovutetaan väylän isäntälaitteiden välillä pienimmältä väyläosoitteen haltijalta seuraavaksi suuremmalle väyläosoitteen haltijalle, eli valtuus luovutetaan nousevan osoitteen järjestyksessä. Kun isäntälaitte saa valtuuden edelliseltä asemalta, se voi lähettää viestejä väylän orja- ja isäntälaitteille. Valtuutta hallitseva isäntälaitte luovuttaa valtuuden eteenpäin seuraavalle osoitteelle, kun se on suorittanut toimintansa väylällä. Jos luovutuksen yhteydessä valtuuden luovuttaja ei havaitse väylällä signaaleja laitteen valtuuden odotusajan puitteissa, se toistaa valtuuden luovutuksen ja odottaa odotusajan. Laitte lopettaa toimintansa väylällä heti havaittuaan väylällä kuittauksen valtuuden luovutukseen. Kolmannen luovutuskertayrityksen jälkeen isäntälaitte vaihtaa valtuuden saajan väyläosoitetta seuraavan laitteen väyläosoitteeseen. Laitte jatkaa tätä niin kauan kunnes aktiivinen isäntälaitte löytyy. [17]

Jokainen isäntälaitte on vastuussa laitteiden lisäämisestä ja poistamisesta osoitevaruudesta sekä oman väyläosoitteen ja seuraavan laitteen väyläosoitteen välistä. Kun laite saa valtuuden, se lähettää kyselyn seuraaville väyläosoitteille. Kyselyn saavat laitteet sijaitsevat kyselyn lähettäjän väyläosoitteen ja senhetkisen seuraajan väyläosoitteen välillä. Laitte suorittaa tätä korjaustoimenpidettä aina, kun laite on suorittanut viestisyklit loppuun. Kun alimman väyläosoitteen laite lähettää viestin että on valmis ottamaan valtuuden vastaan, se lähetetään sille. Tällöin edellinen valtuuden pitäjä päivittää seuraajalle tiedot väyläosoitteista. [16]

Käynnistyksen jälkeen isäntälaitte odottaa valtuusviestiä ennalta määritetyn ajan kuunnellen väylän aktiivisuutta. Jos laite ei havaitse väylällä aktiivisuutta, se ottaa valtuuden itselleen. Pienimmällä paikkaosoitteella oleva isäntälaitte käynnistää aloituksen. Se lähettää kaksi valtuuskehystä osoitettuna itselleen. Tämä itselle lähetetty viesti toistuu koko väylällä ja kertoo muille isäntälaitteille, että se on ainut isäntälaitte loogisessa

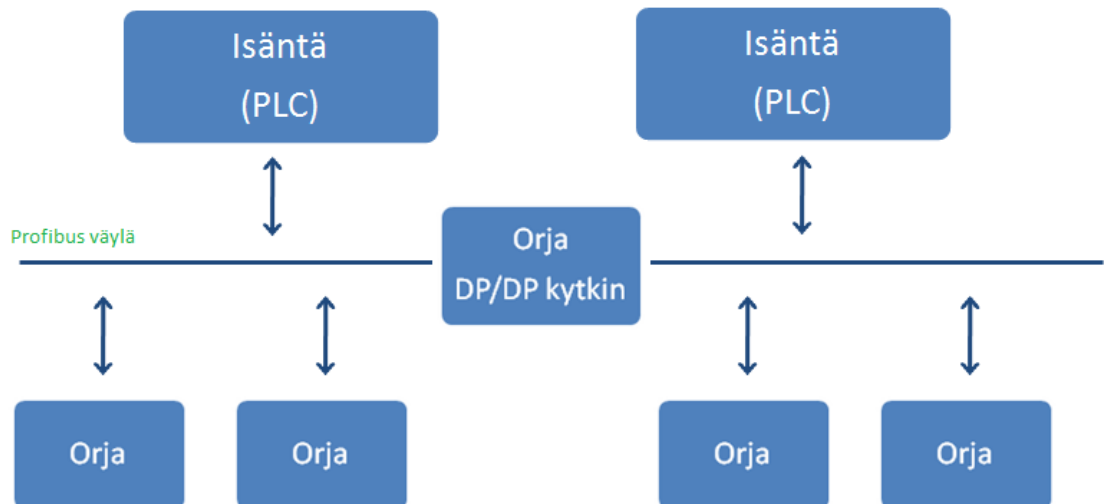
valtuusverkossa. Tämän jälkeen valtuutta pitävä isäntälaitte suorittaa oman ohjelmansa, ja lähettää pyynnön verkkoon. Pyyntö on mallia ”request field data link status” ja se lähetetään jokaiselle väylän osoitepaikalle. Ensimmäiselle vastaavalle isäntälaitteelle luovutetaan valtuus. Isäntälaitteiden, jotka eivät ole valmiita ottamaan valtuutta vastaan eli ”master not ready” -laitteiden, ja orjalaitteiden osoitteet tallennetaan osoitelistaan. Tästä osoitelistasta käytetään nimeltä GAP -lista. [16]

Kun valtuus häviää väylältä esimerkiksi jonkun isäntälaitteen kaaduttua, ei ole tarvetta järjestelmän uudelleen käynnistymiselle. Alimman väyläosoitteen isäntälaitte luo uuden valtuuden valtuusajastimen ajan kuluessa umpeen. Uuden valtuuden myötä toiminta alkaa alusta. Oikean valtuuden kiertämisajan voi laskea kaikista valtuussykleistä. Reaktioaika lasketaan täydellä kuormituksella olevista ohjelmasykleistä. [16]

Sovelluserroksista voidaan valita kahden prioriteetin viestejä, joita ovat korkean ja matalan prioriteetin viestit. Korkean prioriteetin viestit lähetetään aina ensimmäisenä. Riippumatta valtuuden kiertämisajasta isäntälaitte voi lähettää yhden korkean prioriteetin viestin. Systeemin kohdevaltuusaikaan vaikuttaa laitteiden määrä ja korkeiden prioriteetin viestien määrä. Tästä syystä on tärkeää valita vain merkittävät ja kriittiset viestit korkeaan prioriteettiin. Ennalta määritetyn kohdevaltuusajan kuuluu sisältää tarpeeksi aikaa matalan prioriteetin viestien kierrolle ja ylimääräistä aikaa uudelleenyrityksien ja viestien häviämisen varalle.

3.3.2 Väyläliitäntä, DP/DP -kytkin

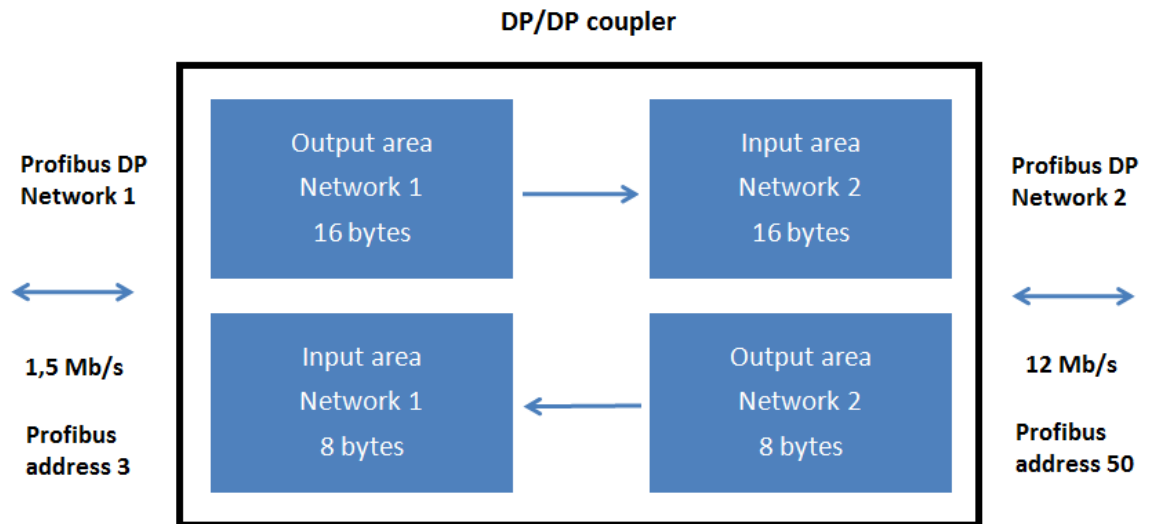
Kaksi isäntälaitetta voi kommunikoida keskenään suoraan kyselyyn pohjautuvalla tavalla. Tällöin isäntälaitteet määritellään toimivaksi omilla väylillään ja niiden välisen kommunikaation mahdollistaa väyläliitäntäkytkin. Väyläliitäntälaitteena voi toimia esimerkiksi DP/DP -kytkin, joka toimii orjalaitteena kahden väylän välillä. Tämän kytkimen avulla isäntälaitteet voivat viestiä keskenään kytkimen muistialueiden kautta. Kytkin koostuu kahdesta orjalaitteesta kahden väylän välillä, jotka jatkuvasti kopioivat oman sisääntulonsa toisenpuolisen kytkimen ulostuloihin. Laitetta voidaan ajatella eräänlaisena postilaatikkona siirrettävälle informaatiolle väylien välillä, jonka välityksellä eri väylien isäntälaitteet siirtävät informaatiota keskenään. Kuvassa 3.5 on hahmotettu DP/DP kytkimen toiminta väylällä. [20]



Kuva 3.5. Väyläkytkimen toiminta

Kaupallisten DP/DP -kytkimien tiedontallennuskyvyt vaihtelevat 64 tavun ja 64 sanan välillä, jolloin siirrettävän informaation suuruus on rajallinen. Väyläliitäntöjä voidaan käyttää kuten muitakin väylän orjalaitteita, joihin voidaan asettaa eri väyläosoitteet molemmille väylille. Väylän sisäisten muistialueiden ristikytkenän vuoksi muistialueiden tyyppin pitää olla molemmin puolin samanlainen. [20]

Kuvassa 3.6 on havainnollistettu DP/DP kytkimen sisäinen toiminta. Kuten kuvan 3.6 esimerkissä on esitetty, molemmat verkot voivat toimia eri kaistanopeuksilla. Kuvassa vasemmanpuoleisen verkon päätoimilaite kirjoittaa kytkimen ulostulon muistialuetta hitaammin kuin verkon 2 päätoimilaite lukee oman kytkimensä sisääntulon muistia. Tämä ei aiheuta verkko- tai lukuongelmia, vaan verkko 2 lukee useita kertoja samaa informaatiota kytkimen muistialueelta. Tämä toimii myös verkon 2 suunnasta verkon 1 suuntaan, jolloin verkon 2 päätoimilaite ehtii kirjoittaa useita kertoja väyläliitimen muistialueelle. Tämä aiheuttaa sen, että osa kirjoitetusta tiedosta mitä verkon 1 isäntälaitte ei ehdi lukea, häviää kirjoitettaessa uutta tietoa muistialueelle. Verkon toiminnan kannalta informaation laskostumisella ei ole merkitystä, mutta se pitää ottaa huomioon suunniteltaessa isäntälaitteiden prosesseja. [20]



Kuva 3.6. Väyläkytkin DP/DP:n sisäinen toiminta

4 RTG:N SÄHKÖJÄRJESTELMÄN TESTAUS

RTG -nosturin sähköjärjestelmän testaus sähkölaitetehtaalla on merkittävä osa sähkölaitteiden kokoonpanoa. Suunnittelun ja kokoonpanon virheet havaitaan sähköjärjestelmästä usein testauksen aikana. Tässä tuotannon vaiheessa virheiden korjaus on halvempaa ja nopeampaa verrattuna siihen, että virheet huomattaisiin ja korjattaisiin vasta nosturin kokoamisen yhteydessä. Testauksen ja koeajon aikana virheet korjataan niin sähköjärjestelmään, sähköpiirustuksiin kuin automaatiikkaohjelmistoihin.

Tässä luvussa käsitellään RTG -nosturin sähköjärjestelmän testauksen eri vaiheita, jotta saadaan selville tämän tuotannon vaiheen kulku testilaitteen kannalta. Testilaitteeseen vaikuttavat testattavat laitteet, kytkennät ja koeajettavat toiminnot. Näiden tietojen pohjalta voidaan tarkastella, miten eri työvaiheita voitaisiin nopeuttaa ja helpottaa ohjaamosimulaattorilla.

4.1 Testauslaitteistoon kohdistuvat säädökset

Sähkölaitteille edellytetään standardin EN 60204-32 mukaista kotelointia ja suojausta. Standardissa määritellään IP luokkien avulla suojauksen aste. IP -luokka merkitään kirjaimien IP jälkeen joko kahdella tai yhdellä luvulla sekä yhdellä kirjaimella ja vaihtoehtoiskirjaimella. [21]

Kotelointi kuuluu suorittaa koeajon aikana niin, että laitteiston ollessa jännitteisenä sen pitää olla suojattuna suoralta kosketukselta. Suojan pitää noudattaa ainakin IP2X- tai IPXXB -luokan mukaista suojausta. Laitteistot, jotka ovat sijoitettuna ovien taakse, pitää lisäksi olla suojattuna ainakin IP1X- tai IPXXA -luokan mukaan. Ovien pitää olla suunniteltu ja suljettu niin, että ovien aukaisuun tarvitsee käyttää aina avainta tai työkalua. Tämän vuoksi ovia ei voi avata vahingossa, vaan avauksen on oltava aina tarkoituksen mukaista. Jos näitä sähkölaitteiden suojauksia ei voida käyttää, pitää soveltaa standardia IEC 60634-4-41. Tässä standardissa määritellään, että sähkölaitteet pitää suojata suoralta kosketukselta esteillä tai sähkölaitteet pitää sijoittaa muilla tavoin suojaan kosketukselta. Esteiden kuuluu standardin mukaan estää vahingossa tapahtuva ruumiillinen kosketus jännitteisiin osiin ja estää kosketus normaalin käytön aikana suojattavaan laitteeseen. Suojan ei tarvitse estää tarkoituksella suojan kiertämistä, jolloin suoja saa olla poistettavissa ilman avainta tai työkalua. Suojan kuitenkin pitää kestää tapaturma ilman tippumista tai hajoamista. [21, 22]

4.2 Koeajon järjestely

Nosturin sähköjärjestelmä testataan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ennen toimistusta. Testaukseen ja koeajoon ei toimiteta nosturin tukevia rakenteita tai moottoreita. Rakenteiden välisiä johdotuksia tai antureita ei kytketä testauksen aikana. Ne toimitetaan vasta nosturin kokoamiskohteeseen, ja ne ovat usein integroituina nosturin rakenteisiin. Testausta ja koeajoa varten testausalueelle toimitetaan sähköhuone, ohjaamo ja tarvittavia sähköjärjestelmään kuuluvia välirasioita. Nämä osat käsittävät suurimman osan nosturin sähköjärjestelmästä.

RTG -nosturin testauksessa ja koeajossa käytetään testimoottoreita, jotka ovat nosturin oikeita moottoreita huomattavasti pienempiä. Tämä vähentää tilantarvetta testausalueella ja helpottaa laitteiden siirtoa. Moottoreiden käyttämä vähäinen teho verrattuna nosturin oikeisiin moottoreihin ei häiritse toiminnallista testausta. Taajuusmuuttajat ovat entuudestaan rasiustestattuja, joten koeajon ajaksi ne asetetaan toimimaan testimoottoreiden toimintapisteessä.

Koeajossa RTG -nosturin sähköhuoneeseen kytketään kolmivaiheisella muuntajalla nostettu verkkojännite. Kolme vaihetta kytketään tasasuuntaajan tuloliittimiin. Tällä simuloidaan dieselgeneraattorin tuottamaa jännitettä. RTG -nosturin dieselgeneraattorikontti testataan erillisenä kokonaisuutena. RTG -nosturi voi olla myös kaapelikäyttöinen, jolloin nosturin tulot vaihdetaan testauksen aikana generaattori- ja kaapeliliitäntöjen välillä. Näin saadaan varmuus generaattorin ja kaapelirummun päävirtapiirien toiminnasta eri tiloissa. Verkkojännitettä nostavat testilaitemuuttajat eivät aina pysty tuottamaan samoja jännitetasoja kuin nosturiin kuuluva dieselgeneraattori. Tämän vuoksi taajuusmuuttajat joudutaan asettamaan eri toimintapisteelle.

Testauksessa ja koeajossa sähköjärjestelmästä jätetään kytkemättä osa nosturiin kuuluvista antureista. Nämä anturit on kiinnitetty muihin laitteistoihin tai rakenteisiin. Esimerkiksi moottoreiden lämpötila-anturit toimitetaan moottoreiden yhteydessä. Kytkemättä jätettyjä antureita korvataan sähköjärjestelmään sopivilla testianturikytkennöillä. Osa näistä anturikytkennöistä mallinnetaan signaaligeneraattoreilla, jotka tuottavat tarvittavat signaalit herätteen luomiseksi sähköjärjestelmään. Osa anturikytkennöistä asetetaan suoraan painokytkimille, jolloin niiden tiloja voidaan vaihtaa helposti toiminnallisen testauksen aikana. Anturikytkentöjen toimivuus on tärkeä osa testausta, koska useiden toimintojen suojausjärjestelmät toimivat anturiheräteteisesti.

Vaikka nosturin sähköjärjestelmä pyritään toimittamaan täysin testattuna, kaikkien toimintojen vastaavuutta ei pystytä varmentamaan testauksen aikana. Nämä toiminnot tulee sulkea ohjelmallisesti nosturin päätoimilaitteesta ennen koeajoa, jotta ne eivät aiheuta virhetilanteita automaatiojärjestelmään testauksen aikana. Automaatiojärjestelmän virhetilanteet estävät täysin laitteen käytön. Tämän vuoksi nosturin ohjelmistosuunnittelun jälkeen nosturiin toimitetaan myös päätoimilaitteen testiohjelma koeajoa varten.

4.2.1 Testaus ja koeajo

Ennen sähköhuoneen kokoonpanoa taajuusmuuttajat testataan PC -pohjaisella testisimulaattorilla. Testisimulaattori lataa taajuusmuuttajien parametrit järjestelmästä. Simulaattori testaa kaikki taajuusmuuttajan toiminnot ja tekee sille rasiustestin. Testauksen yhteydessä taajuusmuuttajat asetetaan toimimaan koeajotilassa. Koeajotilan asetusarvoihin vaikuttavat käytettävät testausmoottorit ja koeajossa käytettävä jännitetaso. Taajuusmuuttajien testauksesta saadaan testausraportti. [23]

Sähköhuoneen kokoonpanon jälkeen laitteistoille suoritetaan testaus. Testauksen ensimmäinen vaihe alkaa visuaalisella tarkistuksella. Tähän vaiheeseen kuuluu sähköhuoneen ja ohjaamon komponenttien ja laitteiden tarkastaminen. Visuaalisessa tarkistuksessa ei kytketä jännitteitä nosturiin vaan tarkastetaan, että komponenttien ja laitteiden kokoonpano noudattaa suunnitellun mukaista järjestelmää ja tilaajan asettamia standardeja. Näitä standardeja ovat esimerkiksi CSA ja UL. Komponenttien tarkastamiseen kuuluu myös niiden paikkamerkkien, johdotuksien kireyden, varoitusmerkintöjen, kosketussuojien ja eristysetäisyyksien tarkastaminen. Tuotannossa voi helposti päätyä myös vääriä komponentteja sähköjärjestelmään. [23]

Lisäksi on tavallista, että suunnitteluvirheitä saattaa päätyä nosturin sähköjärjestelmään. Suunnitteluvirheet ovat usein ajatusvirheitä laitteistokokonaisuuden toiminnasta. Ne eivät yleensä estä laitteiden toimintaa vaan ne toimivat väärällä tavalla prosessissa. Suunnittelu virheitä pyritään havaitsemaan jo visuaalisen tarkistuksen aikana sähköpiirrustuksista. Visuaalinen tarkistus ehkäisee väärin komponenttien aiheuttamat vaaratilanteet ja laitteiden rikkoutumisen. Visuaaliseen tarkistukseen kuuluu myös komponenttien käyttöarvojen asettaminen. [23]

Osien tarkastamisen lisäksi varmistetaan johtimien kiinnitysten kireys ja johtimien värit, jotka voivat vaihdella eri maiden lakisäädösten mukaan. Tämän jälkeen tarkastetaan kaikkien sähköjärjestelmän muuntajien kytkennät. Nostureissa käytetään muuntajia, jotka voidaan kytkeä eri jännitesuuruuksille muuntajan käämityksen eri kohdista. Tuotannosta päätyy usein väärin kytkettyjä muuntajia testattavaan sähköjärjestelmään. Väärinkytetty muuntaja voi rikkoa laitteistoja tai aiheuttaa käyttäjälle vaaratilanteen. [23]

Testauksen alkuvaiheessa tulee tarkastaa maadoitukset. Mikäli maadoitukset ovat puutteellisia, sähköjärjestelmään muodostuu vaikeasti havaittavissa olevia vikoja maadoituspotentiaalin vaihtelua. Eri maissa käytetään erilaisia maadoitussäädöksiä, joten ne tulee myös tarkistaa. Tilaaja voi vaatia laitteille ylijännite- ja eristysvastustestauksen. Nämä voivat aiheuttaa kytkentöjen muutoksia testauksen ajaksi. [23]

Osien tarkistuksen jälkeen testauksen toisessa vaiheessa kytketään sähköhuoneeseen ohjaamo, välirasiat ja testimoottorit, jolloin kytkennät muodostavat toimivan sähköjärjestelmän. Kytkemisen yhteydessä mitataan taajuusmuuttajien jarruvastusten resistanssi ja eristys maata vasten. Mittaamalla voidaan varmistaa, että kyseessä on oikea vastus taajuusmuuttajalle eikä vastus ole viallinen. Viallinen vastus voi aiheuttaa maa-
vuodon ja se puolestaan laitteen rikkoutumisen. Vastusten mittaaminen voi olla myös asiak-

kaan määrittämässä testausstandardissa, jolloin mittauksista täytetään mittausraportti. Kun nosturin koko sähköjärjestelmä on kytkettynä yhteen, liitetään sähköhuoneen virransyötön tuloihin jännite. [23]

Kolmannessa vaiheessa eli sähköisessä tarkastuksessa tarkastetaan kaikkien virransyötön vaiheiden vaihejärjestys. Järjestys tarkastetaan kaikilta niiltä järjestelmiltä, mihin verkon vaiheet kytkeytyvät. Vaihejärjestyksen tarkastamisen jälkeen pääkontaktorin ohjauspiiri tarkastetaan. Ohjauspiiri määrittää kytkinlaitteen päälle kytkeytymisen. Laite kytkee tasasuuntaajaan jännitteen, jolloin järjestelmä aloittaa käynnistymisen. Ohjauspiiriin vaikuttavat useat eri suojauskytkentöjen tilat ja ristikytkenät. Ennen kuin pääkontaktori voidaan ohjata päälle, pitää tarkastaa kaikkien muiden linjojen vaihejärjestykset ja toiminnot. Esimerkiksi valaistus ja lämmityspiirit voivat olla kytkettynä pääkontaktorin rinnalle omaksi järjestelmäkseen. Kun nosturin sähköjärjestelmän kaikki suojat ja passiiviset toiminnot on tarkastettu ja viritetty, tarkastetaan nosturin päätoimilaitteen eli PLC:n I/O -korteilta lähtevät kytkennät. Viimeisten tarkistusten jälkeen järjestelmä voidaan käynnistää. [23]

Viimeinen vaihe testauksessa on toiminnallinen testaus eli koeajo. Koeajon aikana pyritään testaamaan kaikki nosturin toiminnot yhtenäisenä järjestelmänä. Koeajossa pyritään simuloimaan nosturin toimintoja kuten ne oikeasti tapahtuvat. Tämä vaihe edellyttää myös nosturin päätoimilaitteen, PLC -ohjelmiston toimivuutta.

Nosturin toiminnot tarkastetaan käsiajolla, jolloin testaaja ohjaa nosturin toimintoja ohjauspenkiltä. Koeajoa suorittaa kaksi testaajaa vaiheiden nopeuttamiseksi. Toisen testaajan ohjatessa nosturin toimintoja ohjauspenkiltä toinen testaajista tarkistaa ohjauksien toimivuuden suoraan laitteilta ja moottoreilta. Toimintojen lisäksi nosturin vikatilat testataan koeajon aikana. Näin varmistetaan vikatilanteeseen tapahtuessa nosturin ohjausjärjestelmän oikea reagointi tilanteeseen. Vikatiloja mallinnetaan ajon aikana laitteiden poiskytkemisellä ja johdotusten purkamisella. [23]

Koeajon toiminnalliseen testaukseen kuuluu myös nosturin toimintojen ristikytkenneiden ja rajojen testaus. Nosturin useiden ristiinkytkettyjen toimintojen tilat lukitsevat muita toimintoja pois käytöstä. Tällöin lukittu toiminto ei käynnisty edellisen toiminnon ollessa aktiivinen. Toimintojen pitää suoriutua niille määriteltyjen raja-antureiden toiminnan mukaan. Esimerkiksi RTG -nosturin siirron liikkeiden kuuluu toimia samaan aikaan, mutta kääntötelien liikkeen ajaksi kaikkien muiden liikkeiden pitää pysähtyä. [23]

Koeajossa huomattujen virheiden korjaus suunnitellaan yhteistyössä sähkö- ja ohjelmistosuunnittelijoiden kanssa. Tämän jälkeen muutokset lisätään kaikkiin dokumentteihin ja nosturin PLC -ohjelmistoon ja sähköjärjestelmään. Lisäksi testaus ja koeajo dokumentoidaan yrityksen sisäisiä tarkoituksia ja loppuasiakkaalle luovutettavia dokumentteja varten. [23]

4.3 Ohjaamosimulaattori testauksessa

Nosturin testaus suoritetaan manuaalisesti hyödyntämällä ohjaamon ohjauslaitteita. Ohjaamoa korvaavan simulaattorin kannalta on tärkeintä, että ohjaamosimulaattori kykenee tuottamaan tarvittavat ohjaussignaalit nosturin sähköjärjestelmälle, jotta toiminnallinen testaus suoritetaan ohjeistusten mukaisesti.

Koska RTG -nostureiden sähköjärjestelmät eivät ole standardisoituja, visuaaliseen tai sähköiseen tarkastukseen ei voida vaikuttaa väyläohjattavalla ohjaamosimulaattorilla. Tällöin ohjaamosimulaattorin ominaisuudet kehitetään ainoastaan nosturin toiminnallista testausta varten. Ohjaamosimulaattorin mekaanisilla ominaisuuksilla voidaan parantaa testaustilannetta siten, että simulaattorista suunnitellaan mahdollisimman liikuteltava ja avoinrakenteinen.

Toiminnallisen testauksen helpottamisen ja nopeuttamisen vuoksi ohjaamosimulaattoriin voidaan kehittää avustavia toimintoja informaation keräykseen ja testausvaiheisiin liittyen. Näiden toimintojen avulla voidaan suunnitella uusia automaattisia toimintoja. Toiminnot voidaan rajata niihin testattaviin ominaisuuksiin, joihin voidaan vaikuttaa nosturin kenttäväylän välityksellä. Väylän kautta ohjattavia laitteita ovat nosturin taajuusmuuttajat, PLC -järjestelmän signaalikortit ja PLC -ohjelmisto. Tällöin toimintoihin voidaan sisällyttää kaikki nosturin liikkeiden informaation hallinta ja moottoritoiminnot.

Informaation hallintaan kuuluu reaaliaikainen taajuusmuuttajien tilatietojen käsittely suoraan ohjaamosimulaattorilta. Koeajaja voi tarkistaa suoraan ohjaamosimulaattorilta taajuusmuuttajien referenssi- ja nopeusarvot. Näiden arvojen pohjalta voidaan määritellä toimiiko taajuusmuuttaja oikealla tavalla tietyn koeajotilanteen aikana. Koeajaja voi tarkistaa vikatilojen aktiivisuuden ja vikahistoriatilan ohjaamosimulaattorilta. Näiden tietojen selaus suoraan taajuusmuuttajien ohjausyksiköiltä on hidasta verrattuna siihen, että tiedon saa taulukkomuotoisena. Vikatilojen tarkistus helpottaa nosturin toimintojen testausta ja ongelman ratkontaa.

Moottoritoimintoihin kuuluu taajuusmuuttajien ohjaussignaalien tarkka hallinta. Tällöin ohjaussignaali voidaan asettaa tiettyyn arvoon ja simulaattori ei kiinnitä testajaa fyysisesti ohjauslaitteelle ohjauksen ajaksi. Ohjaamoa käytettäessä ohjaukset ovat epätarkkoja ja käsikonsolit asettavat ohjauksen pois päältä silloin, kun ohjauslaitteesta irrotetaan ote.

Koeajon vikakoodien toimivuuden ja vikatilanteiden jälkeisen toiminnan testauksen helpottamiseksi tiettyjä testauksen vaiheita voidaan automatisoida. Tällöin vikatilanteiden tekeminen järjestelmään voitaisiin suorittaa automaattiajon aikana. Vikatilan jälkeisen toiminnan laite pystyisi lukemaan väylältä ja toteamaan, onko nosturin prosessi toiminut oikein vikatilanteessa. Tarkistettavia vikatiloja ovat muun muassa enkoode-ri- ja ylinopeusviat.

Taajuusmuuttaja menee vikatilaan silloin, kun se menettää yhteyden enkoode-riin. Tämä yhteyden katkeaminen mallinnetaan koeajon aikana katkaisemalla yhteys

moottorin enkooderin ja taajuusmuuttajan välillä. Tämän jälkeen taajuusmuuttaja ei saa suoraa tietoa moottorin nopeudesta ja asettaa jarrun päälle.

Ylinopeusvikatila tarkoittaa, että taajuusmuuttajan ylinopeuden suojakortti havaitsee roottorin pyörivän nopeammin kuin taajuusmuuttaja ohjaa sitä. Tämä tarkoittaisi nosturissa sitä, että nosturin nostama kuorma putoaa ohjauksesta riippumatta. Tämän seurauksena taajuusmuuttaja antaa ohjeen jarrun päälle laittamiselle. Tämä mallinnetaan koeajon aikana laskemalla ohjauskortin herätenopeutta suoraan valvontakortin mekaanisesta kytkimestä.

5 OHJAAMOSIMULAATTORI

Smart Cabin -mallin ohjaamosimulaattorin suunnittelun yhteydessä työlle asetettiin tavoitteet ja suureellinen määrittely. Ohjaamosimulaattorin teknisille ratkaisuille oli tarkoitus suunnitella useampi vaihtoehto. Tavoitteiden avulla voitiin määrittellä eri suunnitelmahaarojen toimivuutta. Tämä takasi projektin jatkuvan etenemisen ja mahdollisuuden ohjata simulaattorin mallia parhaaseen mahdolliseen suuntaan. Määrittelyyn kuului, että simulaattori

- pystyy suoriutumaan ohjaamon tehtävistä
- nopeuttaa koeajon kulkua ja helpottaa koeajoa
- ei lisää työmäärää muilla osastoilla
- mahdollistaa järjestelmäyhteensopivuuden (ERP)
- ennakoi tarvittavia muutoksia.

Määrittelyssä mainittu simulaattorin suoriutuminen ohjaamon tehtävistä tarkoittaa sitä, että ohjaamosimulaattorin pitää tuottaa sähköhuoneelle kaikki ne signaalit ja komennot, joita tarvitaan täydellisen toiminnallisen testauksen suorittamiseen. Tämä tarkoittaa, että ohjaamosimulaattorin pitää vastata väylärakenteeltaan oikean ohjaamon väylää.

Ohjaamosimulaattorin on tarkoitus nopeuttaa koeajon kulkua ja helpottaa koeajon suorittamista. Koeajon kulun nopeuttaminen onnistuu automatisoimalla koeajoon kuuluvia vaiheita. Automatisoitu testilaite suorittaa koeajoon tarvittavat komennot nopeammin sähköhuoneelle kuin manuaalisesti koeajettu sähköjärjestelmä. Automatisoitu järjestelmä helpottaa koeajoa ja yksinkertaistaa sitä. Lisäksi koeajon kulkua nopeuttaa ohjaamon ja sähköhuoneen välisten kytkentöjen selkeyttäminen. Kun testilaitteen kytkeminen ohjausjärjestelmään vie vähemmän aikaa kuin oikean ohjaamon, se vähentää testauksen kokonaisaikaa. Kytkentöjen lisäksi ohjaamosimulaattorin tilan tarve vaikuttaa koeajon nopeuteen, kulkuun ja turvallisuuteen.

Simulaattori ei saa lisätä työmäärää muilla osastoilla. Tämä tarkoittaa, että ohjaamosimulaattorin asentamiseen, ohjelmoimiseen ja parametrisointiin ei saa kulua enemmän aikaa kuin aikaisemmin. Esimerkiksi simulaattorin ja nosturin ohjausjärjestelmän kommunikoinnin mahdollistaminen ohjelmallisesti vie tietyn ajan ohjelmistosuunnittelussa. Tähän vaiheeseen kuluvan ajan minimoiminen on merkittävää kehitystyön kannalta.

Ohjaamosimulaattorin tavoitteena on myös mahdollistaa kommunikaatio toiminnanohjausjärjestelmän eli ERP -järjestelmän (engl. Enterprise Resource Planning)

kanssa. Yritys ottaa tulevaisuudessa käyttöön uuden ERP -järjestelmän ja yhtenä tavoitteena simulaattorille on, että tulevaisuudessa sillä on mahdollisuus liittyä uuteen ERP -järjestelmään.

Viimeiseksi tavoitteeksi asetettiin, että kehityksessä on huomioitava simulaattoriin tulevien muutoksien ennakointi. Muutoksia voi tulla uuteen Smart Cabin -malliin, jolloin se heijastuu ohjaamosimulaattorin toimintaan. Ennakointi piti suorittaa uusien osien tilan huomioimisella ja kehittämällä tekniikoita, jotka ottavat mahdollisimman hyvin huomioon muuttuvan ohjaamon.

5.1 Tekniset ratkaisut

Esiselvityksen perusteella muodostui kolme väylärakenteellisesti erilaista testilaitemallia. Malleista valittiin yksi, jonka kehitystä jatketaan. Laitteen määrittelyiden lisäksi mallien teknisissä ratkaisuissa otettiin huomioon koeajon testaajien toiveita ja erilaisia mahdollisuuksia väylään liittymisestä. Nämä tekijät rajasivat teknisiä ratkaisuja huomattavasti.

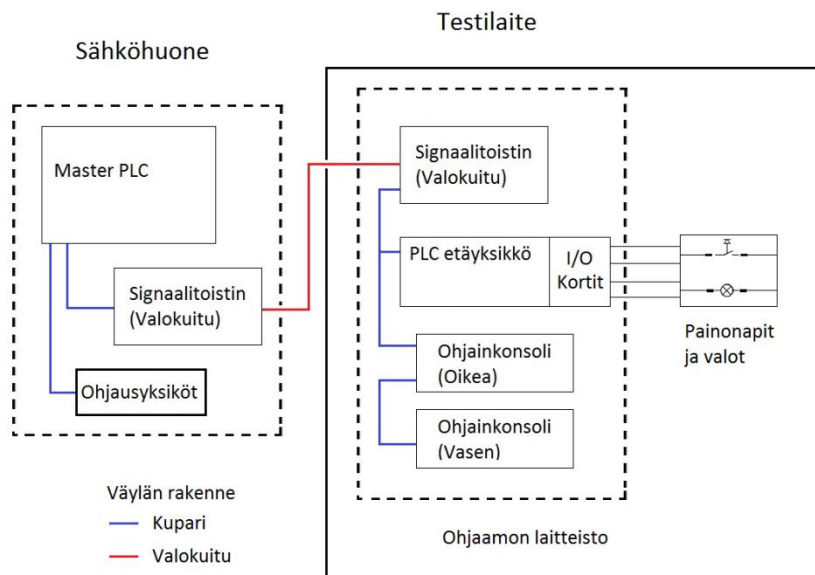
Suunnittelun tarkoitus oli kehittää testilaitte, joka vähentää koeajoon käytettävää aikaa ja helpottaa työtä koeajossa. Nämä asiat eivät saa tapahtua sen kustannuksella, että työmäärä siirtyy toiselle osastolle. Esimerkiksi tietyt ratkaisut vaikuttivat RTG -nosturin päätoimilaitteen ohjelmakiertoon merkittävästi siten, että automaattiosuunnittelun työtaakka olisi kasvanut. Työmäärä olisi lisääntynyt jokaisessa ohjaamosimulaattorilla testatussa projektissa, jolloin mallia ei suunniteltu pidemmälle.

Automaatiotoiminnot tarvitsevat takaisinkytkennän toimintojen tiloista. Tämä onnistuu olemalla taajuusmuuttajien kanssa samalla väylällä tai kommunikoimalla suoraan päätoimilaitteen kanssa. Nämä molemmat ratkaisut tarvitsevat ohjelmaosion nosturin päätoimilaitteelle ohjaamosimulaattoria varten. Päätoimilaitteeseen lisätään testausohjelma, joka mahdollistaa koeajon. Testausohjelma voi sisältää ohjaamosimulaattorin valmiin ohjelmarakenteen, jolloin kevyen ohjelmiston lisäys ei nosta työmäärää. Tällöin simulaattorista on suunniteltava ohjelmallisesti mahdollisimman yhteensopiva laitteistojen kanssa.

Ensimmäisestä teknisestä ratkaisumallista tehtiin täysin manuaalinen. Tämä malli on helppo suunnitella ja valmistaa. Malli suunniteltiin siltä varalta, että uuden ohjaamomallin valmistuksessa tapahtuu myöhästymisiä jo kehitystyön aikana. Tällöin sähköjärjestelmät voidaan testata mahdollisimman nopeasti testilaitteella. Toisesta ja kolmannelta teknisestä mallista suunniteltiin automaattisia. Mallit eroavat toisistaan väylärakenteensa puolesta. Näiden mallien automatiikan taso voidaan määritellä mallin jatkokehityksessä. Mallien jatkokehitys ja valmistus vie huomattavasti enemmän aikaa kuin manuaalisissa mallissa. Tämän vuoksi automaattiset mallit eivät sovellu korvaamaan manuaalista mallia.

5.1.1 Manuaalinen testilaitemalli

Ensimmäisenä kehitetty testilaitemalli on täysin manuaalinen. Tämä tarkoittaa, että jokainen ohjauskäsky pitää tuottaa testilaitteen ohjauslaitteilta. Malli on nopea valmistaa, se ei vaadi paljon jatkokehittämistä ja se on malleista edullisin toteuttaa. Malli ei tosin täytä ohjaamosimulaattorille asetettuja tavoitteita. Manuaalinen malli ei muuta toimenpiteitä testauksen aikana, eikä testilaitte vähennä koeajoon kuluva-aikaa. Testilaitteella suoritettava toiminnallinen testaus tarvitsee kaksi testaajaa. Toinen testaajista ohjaa testilaitteen toimintoja ja toinen tarkistaa nosturin toiminnot sekä luo testattavat tapahtumat. Manuaalisen testilaitemallin hyvänä puolena on sen selkeys ja helppo käytettävyys. Selkeys edesauttaa myös korjausta laitteen rikkoutuessa. Manuaalisen testilaitemallin väylärakenteen periaate on hahmotettu kuvassa 5.1.



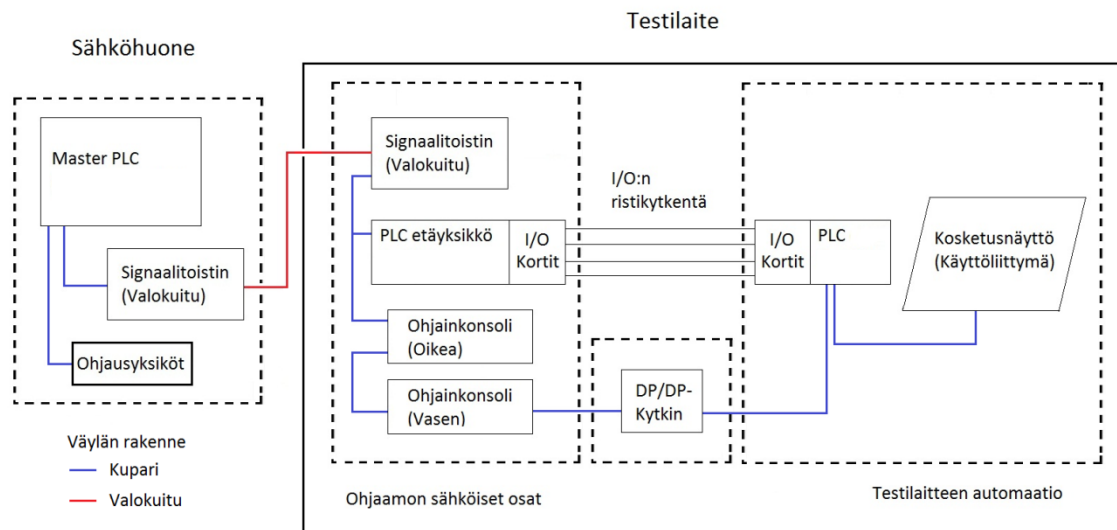
Kuva 5.1. Manuaalisen testilaitteen väylärakenne

Manuaalisessa testilaitteen mallissa sähköhuoneen ohjausjärjestelmälle tuotetaan tarvittavat ohjaussignaalit samoilla laitteilla kuin oikeassa ohjaamossa, jolloin testilaitte vastaa ohjaamo-ohjauksien kannalta. Käyttäjän rajapintana toimivat painonapit, valot ja ohjainkonsolit. Mallin toteuttamista hankaloittaa kaikkien painonappien ja valojen kytkeminen. Tämä lisää laitteen tilantarvetta huomattavasti. Manuaalisen testilaitteen mallissa on vaikeaa ottaa huomioon mahdolliset muutokset, jolloin jokainen lisäys laitteistoon tarkoittaa uudelleen johdottamista. Tällöin testilaitteistoon pitää varata tilaa muutosten varalle.

5.1.2 Automatisoidut ohjaamosimulaattorimallit

Automatisoituihin ohjaamosimulaattorimalleihin voidaan käyttää automaation eri tasoja ja jatkossa lisätä niitä. Automatisoinnin tasoilla tarkoitetaan sitä, miten laajasti ohjaamosimulaattori suorittaa testaus tapahtumia. Molemmat ohjaamosimulaattorin mallit mahdollistavat manuaalisen ajon. Alimmalla automatisoinnin tasolla eli puoliautomaatisoinnilla tarkoitetaan ohjauksille tehtyjä valmiita profiileita. Profiileissa ohjaukset toteuttavat tiettyjä sekvenssejä tai kytkeytyvät päälle odottamaan tiettyä tapahtumahetkeä. Ylemmällä automatisoinnin tasolla eli täysautomaatisoinnilla tarkoitetaan, että testi-laite suorittaa toiminnallisen testauksen tarvittavat toiminnot. Molemmat automaation tasot vapauttavat testaajan testilaitteelta tekemään tarvittavia säätöjä sähköhuoneeseen ja testimoottoreille, eikä toista testaajaa tarvita. Lisäksi automatisoituun malliin voidaan toteuttaa ohjausyksiköiden seuranta, jolla testauslaitteesta pystytään monitoroimaan ohjausyksiköiden toimintaa. Tämä nopeuttaa toiminnallista testausta. Molempiin automaattisiin malleihin on valittu käyttäjän rajapinnaksi kosketusnäyttöllinen paneeli. Tämä vähentää tilantarvetta ja helpottaa simulaattorin toimintojen käyttämistä.

Ohjaamosimulaattorimallit mahdollistavat toiminnallisen testauksen täyden automatisoinnin, jolloin testaaja voi suorittaa vain testauksessa tarvittavat toimenpiteet. Täysautomaatisointi edesauttaa testauksen standardisointia, mutta sitoo jatkokehitykseen. Täyden automatisoinnin toisena etuna on testauksen helpompi ja nopeampi suorittaminen. Ensimmäisen automatisoidun testilaitemallin väylärakenne on hahmotettu kuvassa 5.2.



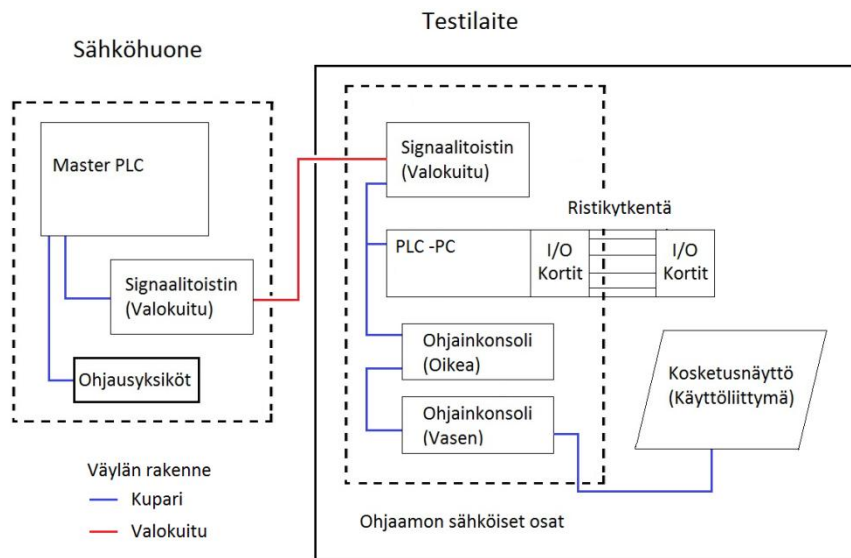
Kuva 5.2. DP/DP -kytkimellä toteutetun ohjaamosimulaattorin väylärakenne

Ohjaamosimulaattorimalli voidaan jakaa rakenteellisesti ohjaamon ja testilaitteen väylärakenteisiin. Ohjaamon väylärakenne käsittää samat osat kuin manuaalinen testilaitteisto luvussa 5.1.1. Manuaaliseen testilaitteistoon on yhdistetty toinen Profibus DP -verkko DP/DP -kytkimellä. Tämä mahdollistaa kahden verkon välisen kommuni-

koinnin isäntälaitteiden välillä. Tällöin testilaitteeseen kytketty nosturin päätoimilaite pystyy kommunikoimaan testilaitteen PLC -laitteen kanssa. Ohjaamosimulaattorin PLC -laite saa tarvittavat takaisinkytkentäinformaatiot nosturin päätoimilaitteelta. Väylään kuuluu ohjaamon etäasema, jonka korttien tiloja voidaan manipuloida simulaattorin PLC -laitteiston signaalikorteilla.

Laitteiston yhteinen toiminta edellyttää valmiin funktiolohkon lisäämistä sähköhuoneen PLC -laitteistoon. Tämä ei lisää automaatio-ohjelmoijan työtä, koska ohjelman funktiolohko voidaan lisätä koeajon aikana käytettävän testausohjelman sisään. Testilaittemalliin kuuluu kosketusnäyttö, joka toimii testilaitteen käyttöliittymänä manuaalisten ohjainkonsolien rinnalla. Testilaittemallin hyvä puoli on se, että testilaitteeseen voidaan lisätä helposti toimintoja paitsi koko kehitystyön ajan, myös laitteen valmistumisen jälkeen.

Käyttäjän kannalta toinen ohjaamosimulaattorimalli on samanlainen, mutta sen toteuttaminen eroaa huomattavasti DP/DP -kytkimellä toteutetusta mallista. Ohjaamosimulaattorissa hyödynnetään kahden isäntälaitteen välistä valtuuden luovutusta. Kuvassa 5.3 on esitetty testilaitteen väylärakenteen malli.



Kuva 5.3. Valtuuden luovutuksella toteutetun ohjaamosimulaattorin väylärakenne

Ohjaamosimulaattorissa nosturin päätoimilaite ja simulaattorin PLC -laite vuorottelevat väyläkommunikaatiota valtuuden luovutuksella. Testilaitteiston oma isäntälaitte pystyy toimimaan väylällä ja hakemaan suoraan informaatiota taajuusmuuttajien ohjausyksiköiltä. Laite tuottaa ohjaamon etäyksikön korttien toiminnot, jolloin sähköhuoneen ohjelmoitava logiikka lukee simulaattorin PLC -laitteiston I/O-paikkoja. Tämä simuloi ohjaamon kaikkien painokytkimien tilat. Ohjaamosimulaattorimallilla pystytään tuottamaan kaikki tarvittavat ohjaussignaalit ja automaation tasot. Mallin huonona puoleena on sähköhuoneen PLC -laitteiston ohjelmoiminen. Laitteiston ohjelmointi vaatii jokaista projektia kohden enemmän aikaa kuin DP/DP -kytkimen kohdalla. Hyvinä

puolena on mallin selkeys ja varmuus siitä, että väylällä kaikki informaation saanti on varmaa, eikä kytkimen rajallinen tiedontallennuskapasiteetti rajoita tiedon kulkua.

5.2 Testilaitteen mallin valinta

Testilaitteen malliksi valittiin DP/DP -kytkimellä toteutettu ohjaamosimulaattori. Malli valittiin, koska se vie vähiten aikaa testattavan projektin automaatio suunnittelussa. Molemmat automatisoidut mallit pystyivät kuitenkin toteuttamaan samat toiminnot käyttäjän näkökulmasta. Tämän vuoksi selvästi paremmin suoriutuva malli ajallisesti valittiin jatkokehitykseen. Mallin valinta luo ohjaamosimulaattorin kehittämiselle kaksi uutta keskeistä haastetta. DP/DP -kytkimellä toteutetussa ohjaamosimulaattorissa on rajallinen tiedonsiirtokapasiteetti, ja kommunikaatio väylälaitteisiin rajoittuu nosturin päätoimilaitteen kommunikaatioon.

Valittu ohjaamosimulaattorin malli pystyy suoriutumaan kaikista tarvittavista ohjaamon ohjaussignaaleista. Malliin pystytään lisäämään toimintoja jotka nopeuttavat, helpottavat ja parantavat koeajoa. Ohjaamosimulaattori tarvitsee toimiakseen RTG -nosturin päätoimilaitteeseen lisättävän ohjelmafunktion, joka voidaan liittää toiminnallisessa testauksessa käytettävään testiohjelmaan. Tällöin ohjaamosimulaattorin vuoksi lisättävä ohjelmafunktio ei lisää automaatio suunnittelun työmäärää merkittävästi. Ohjaamosimulaattorin yhteensopivuus uuden ERP -järjestelmän kanssa päätettiin jättää myöhempään jatkokehitykseen. Ennen kuin yhtiö ottaa käyttöön uuden ERP -järjestelmän, ei kannata aloittaa yhteen sovittavan ohjelmiston suunnittelua. Ohjaamosimulaattori suunnitellaan niin, että se tukee myöhemmin kehitettävää yhteensopivuutta. Laitteistolle jätetään myös optio langattomaan verkkoon liittymiseen.

Mallista päätettiin ensin kehittää puoliautomaattinen, jossa on koeajoa avustavia toimintoja. Puoliautomatisoinnille asetettiin toiminnallisia tavoitteita, joita ovat

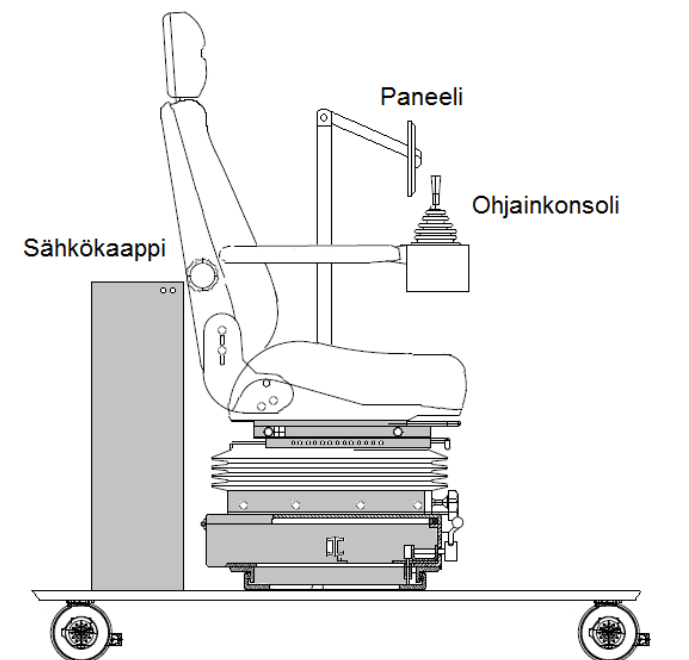
- ohjausarvojen vaihtaminen
- taajuusmuuttajien vikatietojen saatavuus
- taajuusmuuttajien ohje- ja käyntiarvojen saatavuus
- havainnollinen ja helppo käyttöliittymä
- koeajossa tapahtuvien tapahtumien osittainen automatisointi.

Täysin automatisoitua ohjaamosimulaattoria ei koettu vielä ajankohtaiseksi. Ohjaamosimulaattorin täysautomatisointi päätetään vasta sen jälkeen, kun puoliautomaattisesta ohjaamosimulaattorista saadaan käyttäjäkokemusta.

Ohjaamosimulaattori päätettiin valmistaa eri vaiheissa. DP/DP -kytkimellä toteutettu järjestelmä voidaan valmistaa ensin manuaalisen mallin mukaan, ja siihen voidaan lisätä automatiikkaan tarvittavat komponentit myöhemmin.

5.3 Suunnittelun vaiheet

Ohjaamosimulaattorin mallin valitsemisen jälkeen aloitettiin vaiheittainen simulaattori-suunnittelu. Vaiheisiin kuuluivat sähkö-, automaatio-, käyttöliittymä- ja mekaaninen suunnittelu. Sähkösuunnittelussa kehitettiin ohjaamosimulaattorin sähköistys, eli miten laitteeseen saadaan johdettua tarvittava teho helposti, ja miten laitteen saa nopeasti ja turvallisesti pois päältä. Ohjelasuunnittelussa suunniteltiin kaikkien toimintojen lisäksi rajapinta käyttöliittymänä toimivan kosketusnäytön kanssa. Käyttöliittymäsuunnittelu tehtiin ohjelasuunnittelun aikana. Käyttöliittymää on tarkoitettu kehittää edelleen käyttökokemusten jälkeen, koska käyttöliittymä määrittelee simulaattorin käytännöllisyyden. Viimeiseksi laitteen sähköisen kokoamisen ja ohjelmistotestauksen jälkeen suunniteltiin laitteen mekaniikka. Mekaaninen suunnittelu huomioi laitteistojen sijoittelun ja liikuteltavuuden. Suunnittelun tärkein näkökohta oli simulaattorin käytettävyys testaus-tilanteessa. Kuvassa 5.4 on esitetty ohjaamosimulaattorin mekaaninen rakenne.



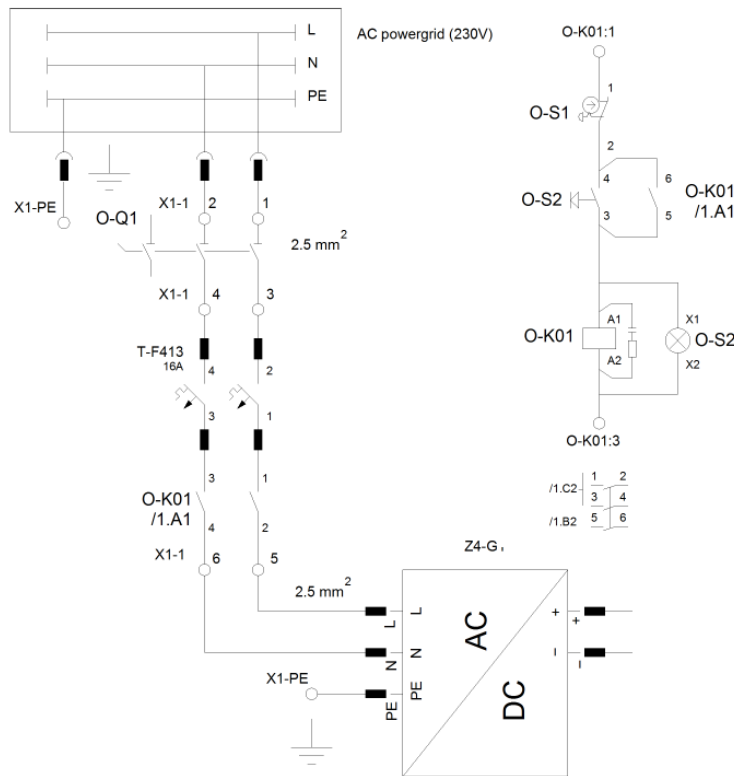
Kuva 5.4. Ohjaamosimulaattorin mekaaninen rakenne

5.3.1 Ohjaamosimulaattorin sähkösuunnittelu

Ohjaamosimulaattorin sähköisessä suunnittelussa otettiin huomioon laitteen turvallisuus ja käytettävyys. Simulaattorista suunniteltiin 230 voltin vaihtojännitteellä toimiva, jolloin se on helppo liittää normaalin Schuko -pistoliittimen kautta yleiseen pienjakelu-verkkoon. Näin kytkentöjen määrä helpottuu ja nopeutuu simulaattoria käyttöönotettaessa, koska sitä ei tarvitse kytkeä nosturin ohjaamolle tarkoitetuille liittimille. Syöttö-verkon käyttö nosturin liitäntöjen sijaan ei haittaa nosturin sähköistä testausta. Liitinten

jännitteisyys tarkastetaan sähköisen testauksen aikana, jolla varmistetaan järjestelmän kyky johtaa jännitettä liittimille saakka

Verkkovirralla toimiva ohjaamosimulaattori johtaa verkon sähkövirran suoja-kytkentöjen kautta tehollähteelle. Teholähde muuntaa 230 voltin vaihtojännitteen 24 voltin tasajännitteeksi. Tästä 24 voltin jännitteestä simulaattoriin kuuluviin laitteisiin johtuu teho laitteiden omien suojiensa kautta. Kuvassa 5.5 on esitetty ohjaamosimulaattorin laitteiden tehollähteen kytkentä verkkoon.



Kuva 5.5. Ohjaamosimulaattorin tehollähteen kytkentä verkkoon

Simulaattorin suojaksi suunniteltiin laitteiston jännitteen katkaisemiseksi kääntökytkin ja suojauspiiri. Kääntökytkin toimii laitteiston mekaanisena erottajana jännitteisestä verkosta ja varmistaa, että laite saadaan varmasti erotettua jännitteestä. Kääntökytkimien toiminta on huomattavasti varmempaa kuin relekytkimien. Laitteen nopeaa sulkemista varten suunniteltiin suojauspiiri, joka käsittää johdonsuojakatkaisimen ja hätäpysäytyspiirin. Johdonsuojakatkaisin katkaisee virrankulun sen ylittäessä virralla asetetun rajan, ja katkaisin toimii automaattisesti.

Hätäpysäytyspiiri koostuu releestä sekä hätäpysäytys- ja valopainikkeesta. Laitteisto ei kytkeydy päälle ennen valopainikkeen painamista ala-asentoon, joka ohjaa releen päälle hätäpysäytyspainikkeen ollessa yläasennossa. Valopainikkeen lampun liittimet johdotetaan releen käämin rinnalle, jolloin valo toimii laitteen tila indikaattorina. Valopainikkeen rinnalle on kytketty releen kärkien kautta kulkeva piiri, joka sulkeutuu

painikkeen rinnalta piirin releen ohjautuessa päälle. Tätä kutsutaan pitopiiriksi. Rele voidaan ohjata pois päältä laitteen kaikkien toimintojen aikana hätäpysäytyspainikkeesta. Tällöin painike katkaisee releen käämille tulevan jännitteen. Teholähde kytkeytyy verkkoon aina kun rele on päällä.

5.3.2 Simulaattorin automaatio-ohjelmisto

Ohjaamosimulaattorin periaatteellinen ohjausjärjestelmä on havainnollistettu kuvassa 5.2, jossa on esitetty DP/DP -kytkimellä toteutettu ohjaamosimulaattorin väylärakenne. Ohjaamosimulaattori koostuu kahdesta erillisestä väylästä: simulaattorin oman ohjelmoitavan yksikön väylästä ja nosturin kenttäväylän puolesta. Simulaattorissa nosturin puoleiseen kenttäväylään on liitetty alkuperäisen Smart Cabin -mallin ohjauslaitteistot. Nosturin puoleinen väylä liitetään koeajon ajaksi RTG -nosturin kenttäväylään valokuidun kautta. Ohjaamosimulaattorin puoleiseen väylään on liitetty ohjelmoitava logiikkayksikkö, jota ohjataan kosketusnäyttöllisen paneelin kautta. Ohjaamosimulaattorin automaatio- ja apujärjestelmän ydin koostuu simulaattorin oman ja nosturin ohjelmoitavan logiikan kommunikaatiosta. Näiden laitteistojen välinen kommunikaatio edellyttää simulaattoriin tehtävän ohjelmiston ja nosturiin lisättävän testiohjelmaosion. Nämä ohjelmat sisältävät myös DP/DP -kytkimen kautta kulkevan informaatorakenteen.

Ohjaamosimulaattorissa sijaitsevan PLC -laitteen ohjelmisto suunniteltiin koostumaan erillisistä ohjelmaloikoista. Jokainen lohko sisältää ohjelmarakenteen ohjaamosimulaattorin eri toiminnoille. Tämä ohjelmistorakenne helpottaa laitteiston testaamista ja jatkokehitystä. Ohjelmassa määritellään väylärakenteen lisäksi rajapinta ohjaamosimulaattorin käyttöliittymänä toimivaan kosketusnäyttölliseen paneeliin. Ohjelmistorakenteen toimintoihin lukeutuvat väyläkytkimen kommunikaatio, etäaseman I/O -tiedon lukeminen ja kirjoittaminen, käsipaneelien ohjaussignaalien ohjelmallinen simulointi, vikahistorian muodostaminen ja automaatiotoiminnot. Toimintojen tilat vaihtelevat sen mukaan, onko ohjaamosimulaattori kytkettynä paneeliohjaukseen vai käsikonsoleiden manuaaliajoon. Paneeliohjauksella ohjaamosimulaattori vaikuttaa nosturin ohjausjärjestelmän laitteiden tiloihin ja kerää niiltä tarvittavaa informaatiota.

Nosturin ohjelmoitavaan logiikkayksikköön lisättävä testiohjelmisto suunniteltiin nosturin testiohjelmaan nopeasti lisättävässä muodossa. Muoto vaikeuttaa ohjelmistotestaamista suunnittelun aikana ja jatkokehitystä ohjelmakoodin ollessa vähemmän selkeä. Muoto kuitenkin vähentää automaatiosuunnittelijan työtä jokaisen projektin kohdalla. Ohjelmakoodin lisäksi automaatiosuunnittelija joutuu määrittelemään väyläkytkimen nosturin väylärakenteeseen. Ilman väyläkytkimen määrittelyä nosturin päätoimilaite ei tunnista kyseistä laitetta. Testiohjelmiston tehtävä on kerätä nosturin väylälaitteilta tarvittavaa informaatiota ja vaihtaa ohjaamosimulaattorin ohjelman mukaisesti laitteiden tiloja. Nosturin ohjauslaitteiden tilojen vaihto onnistuu nosturin ohjelmassa korvaamalla nosturin virtuaalisten laitteiden tiloja ennen ohjelmasyklin loppua. Tällöin ohjaamosimulaattorin ohjaamat arvot jäävät laitteille voimaan. Virtuaalilaitteiden tilat viestitään väylän reaalityökaluille ohjelmasyklin jälkeen.

Nosturin ja ohjaamosimulaattorin välisen PLC -järjestelmien kommunikaatiota varten piti kehittää kommunikaatiokehys väyläkytkimelle. Tämä kehys määrittelee, mitä kytkimen eri muistipaikoilla olevat bitit tarkoittavat. Kommunikaatiokehysten suunnittelussa tuli ottaa huomioon kaikki ne arvot ja tilat, mitä halutaan muuttaa nosturin sähköjärjestelmässä. Lisäksi tuli huomioida ne arvot ja tilat, mitä nosturin sähköjärjestelmästä on tiedettävä tietää ohjaamosimulaattorissa. Kommunikaatiokehysten tila ei saanut ylittää väyläkytkimen muistipaikkojen määrää. Tämä muistipaikkojen määrä väylän molempiin suuntiin on 64 sanaa.

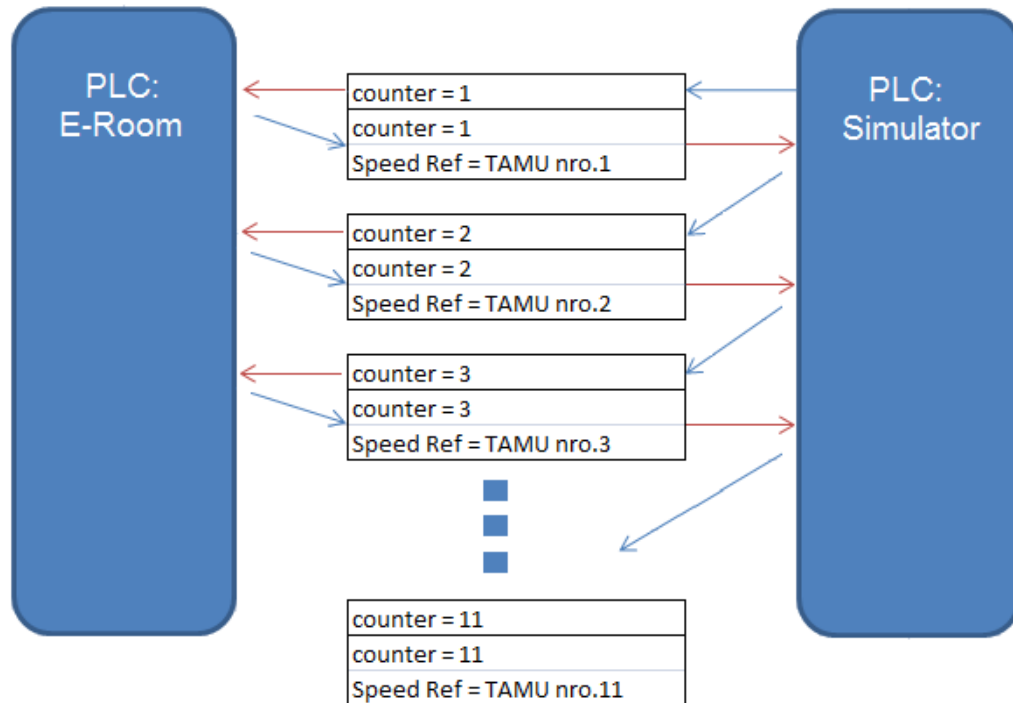
Kommunikaatiokehyksestä muotoiltiin taulukot, jotka sijoitettiin molempiin PLC -järjestelmiin. Ohjelmiston alkuun asetettiin ohjelmafunktio, joka siirtää väyläkytkimen virtuaalisilta muistipaikoilta tiedot suoraan taulukkoon. Siirron yhteydessä tiedot saavat tarkoituksen, eli nimen ja esitystavan. Ennen kuin kytkimellä sijaitseva tieto on siirretty taulukoihin, se on 64 sanan pituudelta tulkitsematonta bittitietoa. Myöhemmin ohjelmakoodissa on helppo viitata taulukon tietoihin ilman viittausta tiettyyn virtuaaliosoitteeseen. Taulukossa määritelty esitystapa helpottaa ohjelmakoodissa informaation käsittelyä, koska esitystapa määrittää matemaattiset toiminnot joita voidaan käyttää informaation käsittelyssä. Ohjelmiston lopussa kaikki arvot, jotka halutaan viestiä toiselle PLC -järjestelmälle, sijoitetaan kommunikaatiotaulukkoon. Tämän taulukon informaatio siirretään taulukosta DP/DP -kytkimen virtuaalimuistiin, jonka laitteisto ohjelmakierron lopussa siirtää väyläkommunikaatiolla reaalisesti väyläkytkimelle.

DP/DP -kytkinratkaisun vuoksi väylien välillä siirrettävän informaation määrä on rajallinen. Ohjaamosimulaattorissa tarvitaan enemmän muistitilaa siirrettävälle informaatiolle kuin kytkinmallit pystyvät tarjoamaan. Tämän vuoksi kytkimen välittämää informaatiota käsiteltiin kahdella tapaa: informaation esitystavan ja ohjelmakierron avulla muutoksella.

Informaation tilantarpeen vuoksi sen esitystapoja muutettiin kommunikaation ajaksi. Tämä tietyissä tilanteissa säästää kytkimen muistitilaa. Esitystavan säästämä tila perustuu tiettyjen arvojen varaaman ylimääräisen tilan poistamiseen. PLC -ohjelman kokonaislukujen normaali esitystapa on signed integer. Tällä esitystavalla voidaan esittää kokonaislukuja arvosta -32768 arvoon 32769. Esitystapa varaa informaation tilaksi aina 16 bittiä riippumatta mitä arvoa sillä esitetään. Tämä esitystapa on yleinen taajuusmuuttajien arvojen käsittelyssä ja esittämisessä. Taajuusmuuttajan tiettyjen tilatietojen arvot vaihtelevat vain arvojen 0 ja 200 välillä. Tällöin voidaan olla valitsematta esitystavaksi 16 bittiä vievää signed integer:ä. Arvot voidaan muuttaa kommunikaation ajaksi kahdeksan bitin esitysmuotoon, jossa voidaan esittää arvoja välillä 0 ja 256. Näin saadaan säästettyä jokaista arvoa kohden kahdeksan bittiä muistitilaa. Tätä tekniikkaa käytettiin ohjaamosimulaattorissa jokaisen vikahistoriatiedon siirtämisessä sähköhuoneen PLC -järjestelmästä ohjaamosimulaattorin PLC -järjestelmään.

Toinen tapa kompensoida tilantarvetta väyläkytkimen muistissa on niin kutsuttu ohjelmakierron muutos. Sen avulla väyläkytkimen muistipaikan sisältämä informaatio esittää eri taajuusmuuttajan tilan arvoa eri ohjelmakierron tiloilla. Informaatiota lähetävä PLC vaihtaa muistipaikalla esitettyä informaatiota toiseen aina kun se saa varmis-

tuksen, että vastaanottava PLC on lukenut muistipaikan sisällön. Tämä toteutetaan ohjaamosimulaattorissa, niin että lähetettävän informaation mukana kulkee toisella muistipaikalla tieto, mikä informaatio on kyseessä. Kuvassa 5.6 on havainnollistettu ohjelmakierrollista muutosta.



Kuva 5.6. Ohjelmakierrollinen muutos

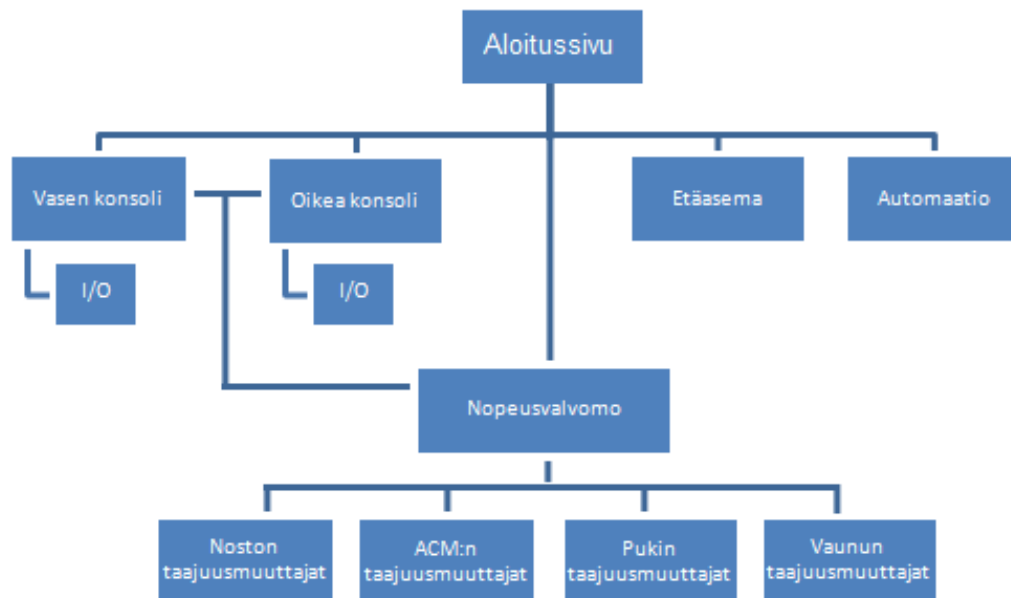
Kuvan 5.6 mukaisesti informaatiota lähetettävä laitteisto lähettää viestilaskurin arvon tilainformaation mukana, jolloin vastaanottaja tietää mitä informaatio tarkoittaa. Tämän jälkeen vastaanottaja vastaa luettuun informaatioon lisäämällä tilalaskuriin arvon yksi ja lähettämällä tämän informaatiota lähettävälle laitteistolle. Informaatiota lähettävä laitteisto vaihtaa kuvaavaa informaatiota, kun palautuvan tilalaskurin arvo on muuttunut. Väylänopeuksien välillä ja laitteistojen ohjelmakiertoon kuluviissa ajoissa on eroja. Tämän vuoksi laskurin arvon pitää määrätä lähetetyn informaation vaihtamisesta.

Ohjelmakierrollinen muutos hidastaa huomattavasti informaation lähetystä ja informaation tulostamista ohjaamosimulaattorin näytölle. Tämä tilatietojen päivityksen hidastumisen aika on yhteenlaskettuna molempien laitteistojen ohjelmakiertoon kuluva aika kerrottuna muistipaikalla vaihdettavan informaation määrällä. Esimerkiksi jos muistipaikkaa käytetään 11 taajuusmuuttajan referenssitiedon siirtämiseen, silloin vaihdettavan informaation määrä on 11. Koko ohjelmiston päivitysajan hidastus aiheuttaa noin sekunnin viiveen tilatietojen päivittymiseen ohjaamosimulaattorissa. Tämä ei aiheuta liiallista häiriötä ohjaamosimulaattorin käyttäjälle. Vaihdettavan informaation määrää ei aseteta suuremmaksi kuin 11, jotta viive ei kasva suuremmaksi. Tämä tekniikka mahdollisti yhdellätoista vaihdettavalla tilatiedolla väyläkytkimen muistipaikkojen tilan tiivistyksen 176 bitistä 24 bittiin.

5.3.3 Käyttöliittymä ja paneelitoiminnot

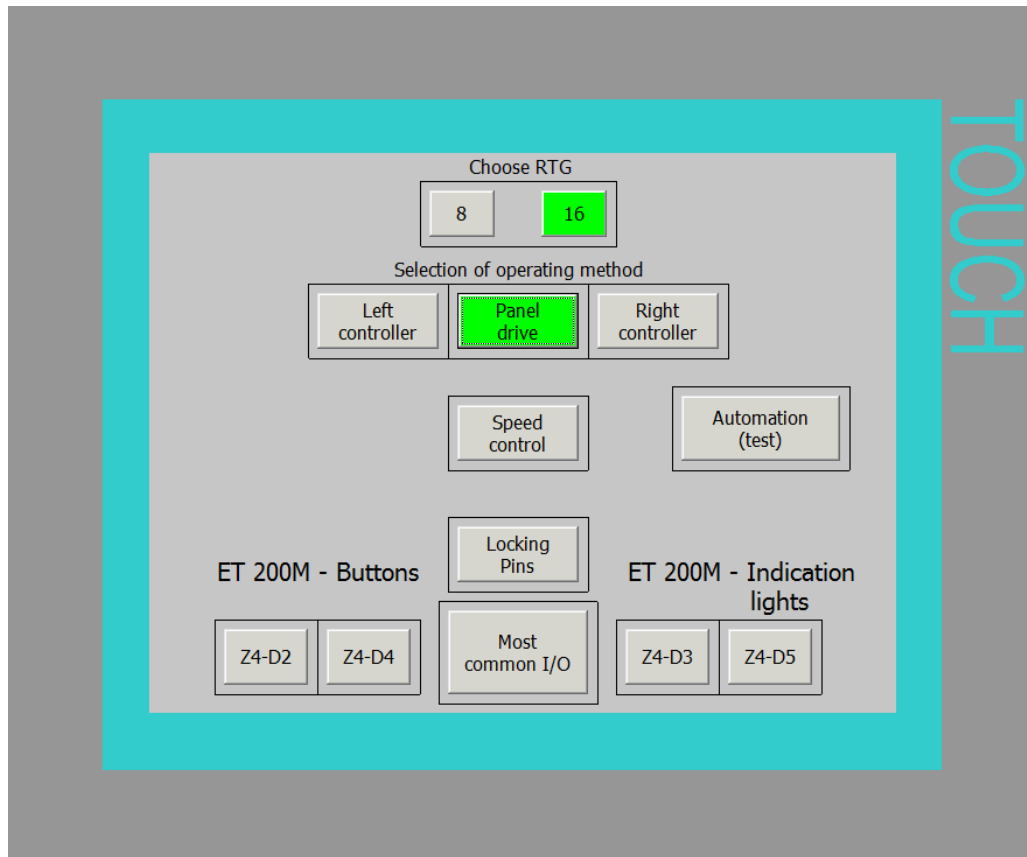
Ohjaamosimulaattorin rajapintana nosturin eri toimintoihin toimii kaksi ohjauskonsolia ja kosketusnäyttölinen paneeli. Ohjauskonsoli on kuvailtu luvun 2 kuvassa 2.9 ja ohjauskonsolin toiminnot löytyvät liitteestä 1. Ohjauspaneeli kommunikoi verkkoliitännän kautta ohjaamosimulaattorin logiikkayksikön kanssa.

Paneelin käyttöliittymä kehitettiin mahdollisimman yksinkertaiseksi ja yksioikoiseksi. Käyttöliittymän kieleksi valittiin englanti. Englanninkielinen käyttöliittymä helpottaa simulaattorin ylläpitoa ja päivitystä simulaattoria käytettäessä useissa eri maissa. Käyttöliittymässä otettiin huomioon värien tarkoitus ja eri informaatioiden visuaalisen havainnollistamisen tärkeys. Paneeliin ohjelmoitiin sivustopuu, jonka mukaan voidaan käyttää koeajoa helpottavia informatiivisia tai automaattisia toimintoja. Sivustoille asetettiin toimintoja jotka muuttuivat aktiivisiksi vain silloin kun oikeat asetukset on valittu. Näin saadaan estettyä tahattomat toimintojen päällekkäisyydet. Kuvassa 5.7 on havainnollistettu käyttöliittymän sivustorakennetta.



Kuva 5.7. Käyttöliittymän sivustorakenne

Käyttöliittymän käynnistyessä aloitussivu latautuu ohjauspaneelin ruudulle. Aloitussivulla käyttäjä valitsee RTG -nosturin sähköisen mallin. Nosturityyppi vaihtelee 8- ja 16- nosturin välillä. Nosturityypin valinnan jälkeen käyttäjä valitsee, halutaanko nosturin liikkeen ohjaus toteuttaa paneeliohjauksena vai manuaalisilla käsikonsoleilla. Paneeliohjauksella toteutettavan ajon aikana käsikonsolit kytetään ohjelmallisesti pois päältä, jotta tahattomasti aiheutetut ohjeet eivät aiheuttaisi vikatilanteita. Aloitussivulla suoritettavien valintojen jälkeen käyttäjä saa näkyviin kuvan 5.8 mukaisen valikon.



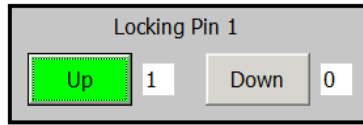
Kuva 5.8. Käyttöliittymän aloitussivu pakollisten valintojen jälkeen

Aloitussivun valikosta voidaan siirtyä toisille sivuille ohjaamaan etäaseman I/O- tietoja, lukitusmoottoreiden tiloja ja ohjauspenkin toimintoja. Lisäksi aloitussivulta voidaan siirtyä nopeusvalvomoon ja automaattitoimintojen sivuille.

Etäaseman sivustolta voidaan ohjata etäaseman I/O -tiloja. Tilojen ohjaus tapahtuu kosketuspainikkeiden tai indikaatiovalojen kautta. Kosketuspainikkeet muokattiin riittävän isoiksi ja ne ohjelmoitiin muuttamaan väriä vihreäksi aina painikkeen ollessa pohjassa. Painonappien vierelle ohjelmoitiin bitin tilaa indikoiva ruutu, josta näkee onko bitin tila 1 vai 0. Indikaatiovalojen tehtävä on kertoa etäaseman ulostulokorttien kanavien tila. Indikaatiovalot eivät ole interaktiivisia. Etäaseman signaalikorttien I/O:t muodostavat kahdeksan kanavan ryhmiä. Logiikkakorttien ryhmät on järjestelty pareittain omille sivuilleen, jotta kanavien painikkeet eivät muutu kosketusnäytöllä liian pieniksi. Jokaiselta etäaseman painikkeiden ja valojen sivulta voidaan vaihtaa sivua viereisten ryhmien sivuille tai aloitussivulle. Etäaseman toimintojen käytön nopeuttamiseksi sivustopuulle lisättiin sivu useasti käytetyille toiminnoille.

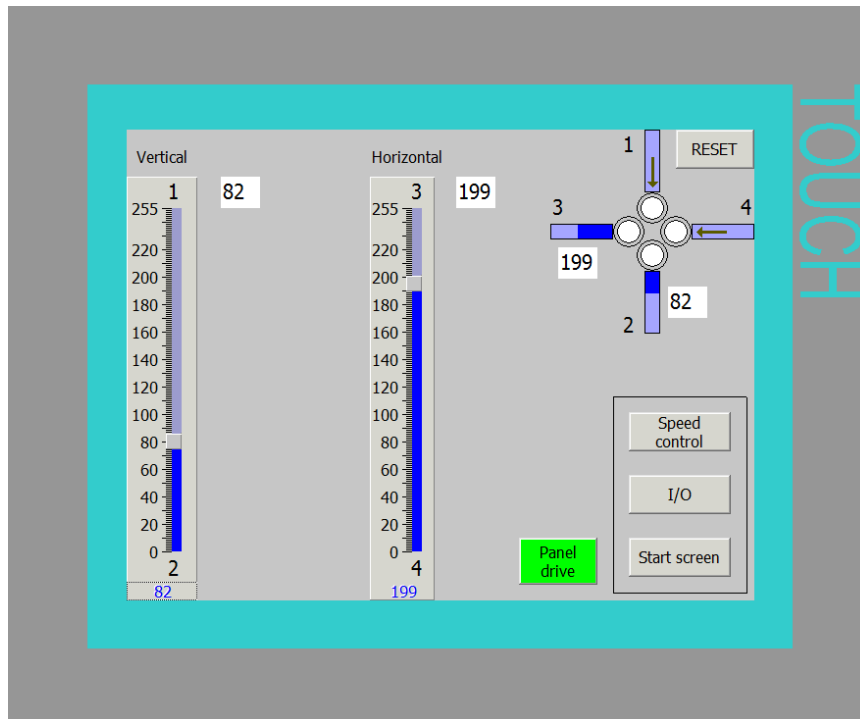
Tappikoneiston lukitusmoottoreiden tilojen vaihto tapahtuu samanlaisista kosketuspainikkeista kuin etäaseman I/O tilojen vaihto. Moottoreiden päälle laittaminen on ohjelmallisesti ristilukittu, eli vain toinen tiloista voi olla kerrallaan päällä. Ristilukitus on ohjelmoitu käyttöliittymään siten, että lukitusmoottorin kosketinta valittaessa päälle se muuttaa toisen koskettimen 0 -tilaan. Näin varmistutaan siitä, että ohjelmallisesti ei yritetä ohjata molempia koskettimia päälle yhtä aikaa. Ristilukitus on toteutettu mekaa-

nisesti nosturin sähköjärjestelmässä, mutta ohjelmallinen ristilukitus vähentää testauksen aikana tapahtuvaa räsytystä komponenteille. Kuvassa 5.9 on havainnollistettu kosketuspainikkeiden ulkonäköä ja ristilukitusta.



Kuva 5.9. Ensimmäisten lukitusmoottoreiden kosketuspainikkeet

Ohjauskonsolien toimintoja voidaan operoida myös käyttöliittymän kautta. Tämä ominaisuus kehitettiin, jotta nopeuskäskyjä voidaan kontrolloida tarkasti ja nopeasti ohjauspaneelin kautta. Ohjauskonsolien toimintojen ohjelmallinen käyttö lisää testauksen joustavuutta projekteissa, joissa ohjauskonsolia muokataan asiakkaan halusta. Konsolin muokkaus saattaa aiheuttaa konsolin GSD -tiedoston vaihtumisen. Tällöin nosturin kenttävyöhykseen ei voida liittää ohjaamosimulaattorin käsikonsoleita, mutta nosturi voidaan silti koeajaa ohjelmallisesti paneelin kautta. Ohjelmallinen koeajo vähentää näissä tapauksissa tuotteen valmistuksen viivästyksiä sähkölaitetehtaalla. Kuva 5.10 havainnollistaa oikeanpuoleisen ohjainkonsolin ohjelmalliseen käyttämiseen tarkoitettua pääsivua.



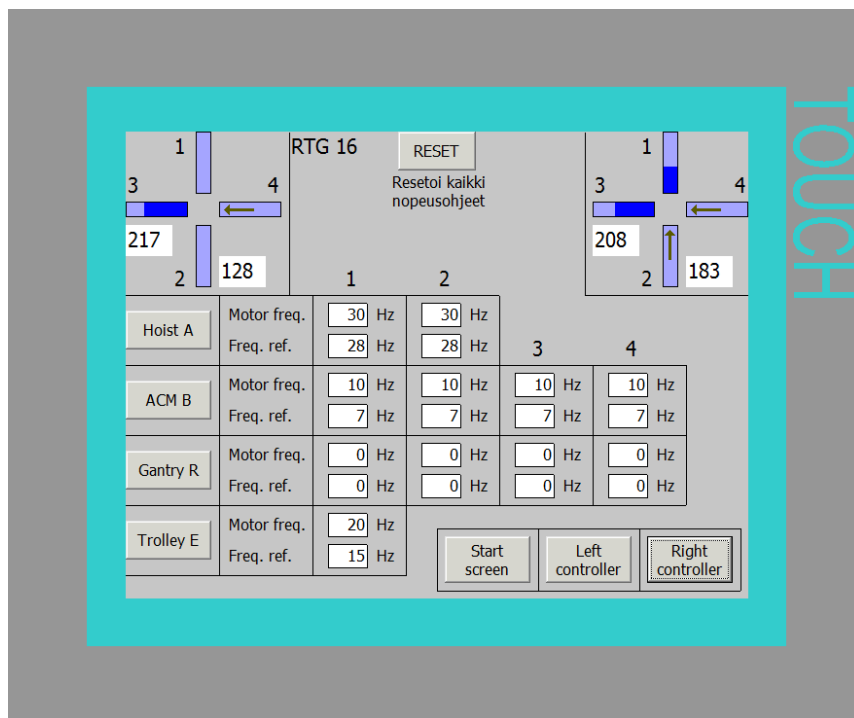
Kuva 5.10. Oikean ohjainkonsolin ohjaussivu

Ohjainkonsolien nopeutta ja suuntaa ohjataan konsolin pääsivulta. Ohjaamosimulaattori valitsee automaattisesti suuntaohjeen nopeusohjeesta. Nopeusohjeen ollessa välillä 0 – 128 ensimmäisen suunnan bitti asetetaan tilaan 1. Välillä 128 – 255 ensimmäisen suunnan bitti alustetaan tilaan 0 ja toisen suunnan bitti asetetaan tilaan 1.

Kuvassa 5.10 olevan liukukoskettimen lisäksi nopeusohjauksen tarkka arvo voidaan asettaa sen vieressä olevasta lukuarvosta. Lukuarvoa painamalla tulee esiin numeronäyttö, josta voi asettaa halutun ohjausarvon asteikolta 0 – 255. Asteikon ulkopuolisia arvoja ei voi asettaa, koska muuttuvan arvon esitysmuoto ei salli muita arvoja. Nopeusohjeen asettamisen kaksi erillistä tapaa luovat nopean ja tarkan tavan ohjata nopeutta ohjauspaneelilta. Ohjauskonsolisivun yläreunaan lisättiin ohjauksien visuaalinen esitys, josta on helppo ja nopea havainnoida ohjauksien suuntia ja suuruutta.

Ohjauskonsolin pääsivulta voi siirtyä käsikonsolin I/O -kosketuspainikkeiden sivulle. Nämä painikkeet ohjelmoitiin toimimaan samalla tavoin kuin etäaseman kosketuspainikkeet. Lisäksi painikkeet sijoitettiin käsikonsolia muistuttavaan kuvaan, josta painikkeiden vastaava paikka käsikonsoleilla havainnollistuu käyttäjälle.

Käyttöliittymän käsikonsolin pääsivulta voi siirtyä nopeusvalvomoon siirtymättä ensin aloitussivulle. Nopeusvalvomosta voidaan tarkastella taajuusmuuttajien tilatietoja. Ohjaamosimulaattorin nopeusvalvomon sivu käyttöliittymässä on esitetty kuvassa 5.11.

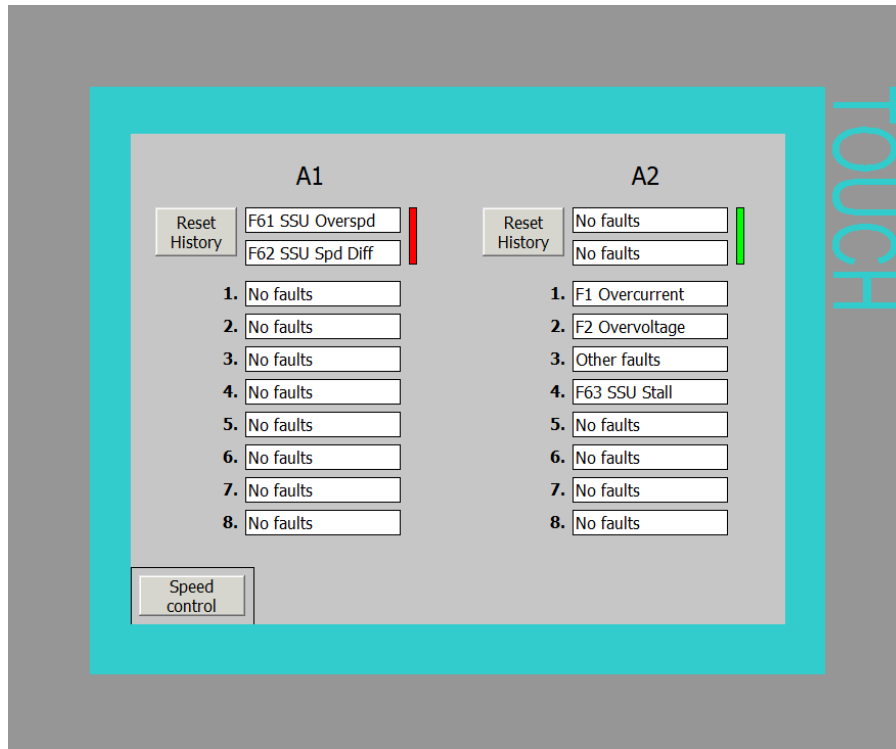


Kuva 5.11. Nopeusvalvomo

Taajuusmuuttajien tilatietojen tarkastelua varten käyttöliittymään ohjelmoitiin sivusto nopeusvalvomolle. Valvomosta voi tarkastella nosturin logiikkayksiköltä tulevaa tietoa käsikonsoleiden nopeustiloista. Nopeustilat voidaan lukea vaikka ohjaamosimulaattori olisi manuaaliajotilassa. Lisäksi nopeusvalvomon sivulle on tulostettu taajuusmuuttajien nopeusohjeet ja moottorinopeudet. Taajuusmuuttajalta saatujen tietojen perusteella testaaja voi päätellä toimiiko taajuusmuuttaja oikein, eli reagoiko se ohjearvoihin halutulla tavalla. Nopeusvalvomon ruudulta voi asettaa käsikonsoleiden toimintojen ja nopeuksien ohjeistuksen pois päältä, jolloin laite alustaa konsolien ohjauk-

sien tilat. Nopeusohjeiden alustus nopeuttaa ohjauksien käyttöä ja virhetiloissa moottorien pysäyttämistä.

Ohjauspaneelin nopeusvalvomosta voi siirtyä taulukon liikkeiden painikkeista, jokaisen liikkeen vikahistoriasivulle, jossa liikkeen taajuusmuuttajien aktiiviset vika- ja vikahistoriatiedot on esitetty. Kuvassa 5.12 on havainnollistettu vikatilatietojen toiminta vikahistoriassa.



Kuva 5.12. Vikahistoria

Käyttöliittymän vikahistoriasivun aktiivisten vikakoodien paikalle mahtuu vain kaksi vikatilaa. Tämä johtuu siitä, että taajuusmuuttajalta normaaleilla toimitusparametreilla kenttäväylän kautta voidaan lukea vain vikatilat yksi ja kaksi. Taajuusmuuttajan vikatiloja voi olla aktiivisina useampiakin kuin kaksi. Tällöin vikatilat voidaan lukea taajuusmuuttajan paneelista. Vikahistoria auttaa ratkaisemaan taajuusmuuttajaan kohdistuvia ongelmia testauksen aikana. Vikahistoria on kahdeksanpaikkainen luettelo, josta voidaan lukea vikanumeroiden lisäksi vikakoodit. Historiatiedot päivittyvät aktiivisten vikatilojen muuttuessa niin, että uudet vikatilatiedot siirtyvät historiataulukoon. Vikatilat eivät päivyty historiatietoihin, jos vika löytyy entuudestaan luettelosta. Historiatiedot voi nollata ohjaamosimulaattorin käytön kaikissa vaiheissa. Tämä helpottaa vikatilojen seuraamista edellisten vikojen korjauksien jälkeen.

Ohjaamosimulaattoriin ohjelmoituihin automaatiotoimintoihin voi siirtyä suoraan käyttöliittymän aloitusruudulta. Sivu on valittavissa vain jos ohjauskonsolien ohituspainike on päällä. Automaatiotoiminnot on rakennettu niin, että toimintoa aloittaessa poistuu mahdollisuus siirtyä sivulta toiselle ja vaikuttaa ohjauskonsoleihin. Myös muiden automaatiotoimintojen mahdollisuus lukittuu pois käytöstä. Automaatiotoiminnot

vaihtelevat sen mukaan mitä koeajovaihetta ne automatisoivat. Automaatiotoiminnon voi pysäyttää toiminnon vaiheesta riippumatta lopetuspainikkeesta, jolloin taajuusmuuttajien ohje arvo asetetaan nopeusarvoon 0. Nopeusarvon vaikutuksesta taajuusmuuttajat ohjaavat liikkeellä olevat moottorit pysähtymään.

6 YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli kehittää ratkaisu RTG -nostureiden testaukselle ohjaamovalmistuksen siirryttyä sähkölaitetehtaalta. Yksi ratkaisuvaihtoehdoista oli määrittellä ja kehittää ohjaamosimulaattori korvaamaan Smart Cabin -mallin ohjaamoa nosturin sähköjärjestelmän tehdastestauksessa. Diplomityössä käsiteltiin RTG -nosturin sähkö- ja ohjausjärjestelmää sekä väyläkommunikaatiota. Näiden tietojen pohjalta kehitettiin kolme erilaista mallia ohjaamosimulaattorille. Malleista valittiin yksi jatkokehitystä varten. Ohjaamosimulaattorin rakennetta ja tarkoitusta kuvattiin niiltä osin, kuin sen koettiin olevan hyödyllistä tämän työn kannalta.

Nosturin sähkö- ja ohjausjärjestelmän ymmärtämiseksi sekä vankan teoriapohjan luomiseksi tutkimuksessa hyödynnettiin lukuisia kirjallisuuslähteitä. Näin saavutettu ymmärrys nosturin sähkö- ja ohjausjärjestelmästä oli riittävä tutkimuksen tavoitteena olleen ohjaamoa korvaavan simulaattorin kehittämiseksi. Osa työssä käytettävistä lähteistä pohjautui yrityksen sisäisiin ohjeisiin ja materiaaleihin. Varsinkin testauskäytäntöjen selvityksessä käytettiin suurimmaksi osaksi yrityksen sisäisiä lähteitä. Tällöin testauksen toimenpiteet eivät noudata yleisiä käytäntöjä. Nämä lähteet koettiin riittäväksi tutkimuksessa kehitettyyn ohjaamosimulaattoriin, koska ohjaamosimulaattori tulee vain yrityksen käyttöön.

Tämän työn tuloksena syntynyt ohjaamosimulaattori on testauksessa toimiva ja testausta edesauttava testilaitte. Valmistettavien nostureiden jatkuvan kehityksen vuoksi ohjaamosimulaattoria joudutaan kuitenkin väistämättä tarkastamaan, vaikka tulevia muutoksia pyrittiin ottamaan huomioon ohjaamosimulaattorin kehitysvaiheessa. Ohjaamosimulaattorin dokumentoinnin ja suunniteltujen mekaanisten ominaisuuksien puolesta tarvittavien muutosten tekeminen on helppoa ja suhteellisen nopeaa.

Tutkimuksessa havaittiin, että ohjaamosimulaattorilla on mahdollista automatisoida tiettyjä testauksen ja koeajon toimintoja. Ohjaamosimulaattoriin valittiin käytettäväksi alempaa automatisoinnin tasoa. Simulaattorin toiminnot helpottavat koeajajien työtä ja vapauttavat testaukseen kuluvaan aikaan. Ohjaamosimulaattori vähentää testaukseen tarvittavaa tilaa, joka itsessään parantaa koeajon sujuvuutta. Lisäksi simulaattori vähentää jokaista sillä testattavaa projektia kohden huomattavasti logistiikkakustannuksia ja logistiikasta aiheutuvia tehtaan sisäisiä järjestelyitä. Käyttöliittymän kielivalinta edesauttaa simulaattorin käyttöönottoa muissa maissa. Ohjaamosimulaattori täytti suunnittelun aikana asetetut tavoitteet.

Ohjaamosimulaattori tullaan ottamaan käyttöön myös toisella yrityksen sähkölaitetehtaalla toisessa maassa. Ohjaamosimulaattoreiden määrän kasvaessa ja niiden sijoittuminen maantieteellisesti luo ylläpidollisia rajoituksia ja haasteita. Tulevaisuudes-

sa ohjaamosimulaattoria voidaan kehittää simulaattorin testaustoimintojen ja ERP -järjestelmän osalta. Käyttäjäkokemuksien mukainen korjaus uusille toiminnoille ja edellisten parantamiselle on oleellinen osa laitteiston ylläpitoa. Ohjaamosimulaattorin automaatiotason lisääminen on mahdollista ylläpidon ohella. Ohjaamosimulaattorin jatkokehittäminen voi edetä koskemaan jokaista nosturityyppiä, joihin Smart Cabin -mallin ohjaamo on saatavilla. Nämä nosturityypit on esitetty luvun 2 alussa.

Ohjaamosimulaattorin yhteensopivuutta ERP -järjestelmään aiotaan tutkia tulevaisuudessa. Yhteensopivuus mahdollistaa laitteiston testausraportoinnin ja -informaation keräämisen. Uuden sukupolven taajuusmuuttajat mahdollistavat kenttäväylän ohella muita väylärakenteita, joita voidaan käyttää taajuusmuuttajien informaation automaattiseen keräämiseen. Tämä nopeuttaisi ja helpottaisi testausraportoinnin tekoa ja taajuusmuuttajien tietojen hallinnoimista ERP -järjestelmässä.

LÄHTEET

- [1] Konecranes Plc, Material Bank. 2010. Konecranes Plc Intranet
- [2] Konecranes Plc, 16 -Wheel RTG crane: Operator's manual, Konecranes Plc Intranet, 2010.
- [3] Hämäläinen, Y. Starck, P. 2004. KCI Training: BaseTrain. koulutusaineisto. Hyvinkää. KCI Konecranes Oyj. 122 s.
- [4] Konecranes Plc, Technical Specification for Konecranes Rubber Tyred Gantry Crane, Konecranes Plc Intranet, 2005.
- [5] Konecranes Plc, Wiki. 2010. Konecranes Plc Intranet
- [6] Mohan, Undeland and Robbins, Power Electronics: Converters, Applications, and Design, John Wiley & Sons, Third Edition, 2003.
- [7] Allan R. Hambley, Electronics: Second edition, 2000
- [8] In-Sung Jung; Mulman, B.M.; Thapa, D.; Lock-jo Koo; Jae-Ho Bae; Sang-hyun Hong; Sungjoo Yeo; Park, C.M.; Park, S.C.; Gi-Nam Wang; , "PLC Control Logic Error Monitoring and Prediction Using Neural Network," *Natural Computation, 2008. ICNC '08. Fourth International Conference on* , vol.2, no., pp.484-488, 18-20 Oct. 2008. IEEE
- [9] Konecranes. Yleiskuva Profibus DP-väylästä. 1999. 17s.
- [10] Konecranes. ProfibusDP manual for dynac vector II and Dynahoist Vector II. 2009. 32 s.
- [11] W. Gessmann GMBH. Datasheet for VV85 B24 6DW. 2011. 11 s.
- [12] Siemens. Operation Instructions for Distributed I/O device ET 200M. 2011. 272 s.
- [13] Phoenix. Manual for PSI-MOS-PROFIB/FO. 2010. 14 s.
- [14] P. Premchand. Data communication and computer networks. 2007.
- [15] Xu Guangli; Zhang Hao; , "Research and development for the communication interface conversion of Profibus and CAN bus," *Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on* , vol.8, no., pp.V8-

66-V8-68, 22-24 Oct. 2010
doi: 10.1109/ICCASM.2010.5619165. IEEE

- [16] Felser, Max ; Mitchell, Ron. Industrial Communication Systems. 2011. Kappale 32, 1-14 s.
- [17] S. Mackay, E. Wright, D. Reynders, John Park, Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting 2004
- [18] Chen Meicheng; Fang Yanjun; Xu Jun; , "Implementation of fully integrated automation with Profibus," *Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005. 31st Annual Conference of IEEE*, vol., no., pp. 4 pp., 6-10 Nov. 2005 doi: 10.1109/IECON.2005.1568940. IEEE
- [19] Max Felser. Quality of Profibus Installations. Berne University of Applied Sciences. School of Engineering and Information Technology. 2006. IEEE
- [20] Siemens. Manual for DP/DP Coupler: Release 2. 2011. 104 s.
- [21] EN 60204-32. Safety of machinery. Electrical equipment of machines. Requirements for hoisting machines. Lontoo 2008, British Standards Institution. 138 s.
- [22] IEC 60364-4-41. Low-voltage electrical installations. Geneve 2005, IEC Central office. 74 s.
- [23] Timo Hyytinen. Testing procedure in Electrics Factory. Konecranes Plc Intranet. 2005.

LIITE 1. OHJAINKONSOLIN TOIMINNOT

Vasemman konsolin toiminnot					
Sisääntulo			Ulostulo		
Paikka	Osoite	Toiminnon nimi	Paikka	Osoite	Toiminnon nimi
1	DI 112.0	SLACKROPE BYPASS	7	DQ 112.0	WHEELS LOCKED & RESET LAMP ON
2	DI 112.1	WHEEL POSITION 1		DQ 112.1	SPARE
3	DI 112.2	WHEEL POSITION 2		DQ 112.2	SPARE
4	DI 112.3	WHEEL POSITION 3			
5	DI 112.4	WHEEL POSITION 4			
6	DI 112.5	TWINLIFT BYPASS			
7	DI 112.6	WHEELS LOCKED & RESET			
	DI 112.7	SPARE			

Vasen moniakseliohjain		
Sisääntulo		
Paikka	Osoite	Toiminnon nimi
8	DI 64.0	JOYSTICK FORWARD TROLLEY/SPREADER
9	DI 64.1	JOYSTICK BACK TROLLEY/SPREADER
10	DI 64.2	JOYSTICK LEFT GANTRY/SPREADER
11	DI 64.3	JOYSTICK RIGHT GANTRY/SPREADER
12	DI 71.0	FLIPPERS UP
13	DI 71.1	SLEW TO ZERO
14	DI 71.2	FLIPPERS DOWN
15	DI 71.3	DYNAPILOT TEMPORARY BYPASS
	DI 71.4	SPARE
16	DI 71.5	MICRO MOVEMENTS ACTIVATE
17	DI 71.6	GANTRY TURN CCW/ SPREADER SKEW CCW
18	DI 71.7	GANTRY TURN CW/ SPREADER SKEW CW
	DI 72.0	SPARE
	DI 72.1	SPARE

Oikean konsolin toiminnot					
Sisääntulo			Ulostulo		
Paikka	Osoite	Toiminnon nimi	Paikka	Osoite	Toiminnon nimi
19	DI 110.0	SPREADER TWINLIFT ON-OFF	19	DQ 110.0	SPREADER TWINLIFT ON-OFF (LAMP)
20	DI 110.1	ANTICOLLISION BY-BASS	23	DQ 110.1	SPREADER 20 FT
21	DI 110.2	SPREADER 45 FT	22	DQ 110.2	SPREADER 30 FT
22	DI 110.3	SPREADER 30 FT	24	DQ 110.3	SPREADER 40 FT
23	DI 110.4	SPREADER 20 FT	21	DQ 110.4	SPREADER 45 FT
24	DI 110.5	SPREADER 40 FT	25	DQ 110.5	E-STOP ACTIVATED
	DI 110.6	SPARE		DQ 110.6	SPARE
25	DI 111.7	E-STOP		DQ 110.6	SPARE
26	DI 111.0	SPREADER ISO			
27	DI 111.1	SPREADER USD			
28	DI 111.2	SPREADER WTP			
	DI 111.2	SPARE			

Oikea moniakseliohjain		
Sisääntulo		
Paikka	Osoite	Toiminnon nimi
29	DI 50.0	HOIST DOWN
30	DI 50.1	HOIST UP
31	DI 50.2	HOIST TRIM LEFT
32	DI 50.3	HOIST TRIM RIGHT
	DI 57.0	SPARE
	DI 57.1	SPARE
33	DI 57.2	ACTIVATE LOUD HAILER
34	DI 57.3	ALARM HORN
35	DI 57.4	ACTIVATE TRIM
36	DI 57.5	PUSH TO TALK
37	DI 57.6	ROCKER/TWISLOCKS CLOSE
38	DI 57.7	ROCKER/TWISLOCKS OPEN
	DI 58.0	SPARE
	DI 58.1	SPARE

LIITE 2. ETÄASEMAN TOIMINNOT

ET 200M etäaseman lähtöyksiköt			
	Lähtöyksikkö 1		Lähtöyksikkö 2
Ryhmä 1		Ryhmä 1	
Osoite	Toiminnon nimi	Osoite	Toiminnon nimi
DQ 100.0	E-STOP CIRCUIT OPEN	DQ 100.0	TWISLOCK LOCKED
DQ 100.1	RADIO TANGENT	DQ 100.1	SPREADER LANDED
DQ 100.2	SPREADER AUTO PUMP ON	DQ 100.2	TWISLOCKS UN-LOCKED
DQ 100.3	MAIN GIRDER LIGHTS ON	DQ 100.3	CRANFAULT
DQ 100.4	TROLLEY LIGHTS ON	DQ 100.4	OPTION
DQ 100.5	LOAD LANE LIGHTS ON	DQ 100.5	SPREADER 20 FT
DQ 100.6	DRIVING LIGHTS ON	DQ 100.6	SPREADER 30 FT
DQ 100.7	WALKWAY LIGHTS ON	DQ 100.7	SPREADER 40 FT
Ryhmä 2		Ryhmä 2	
Osoite		Osoite	
DQ 101.0	FAULT BUZZER ON	DQ 101.0	SPREADER 45 FT
DQ 101.1	DRIVES ON	DQ 101.1	OTHER SPREADER FUNC. 1
DQ 101.2	DYNAPILOT GANTRY ON	DQ 101.2	OTHER SPREADER FUNC. 2
DQ 101.3	DIESEL FAULT	DQ 101.3	OTHER SPREADER FUNC. 3
DQ 101.4	RED NIGHT LIGHTS ON	DQ 101.4	OTHER SPREADER FUNC. 4
DQ 101.5	AUTO STEERING ON	DQ 101.5	OTHER SPREADER FUNC. 5
DQ 101.6	DYNAPILOT TROLLEY ON	DQ 101.6	OTHER SPREADER FUNC. 6
DQ 101.7	WIPER INTERVALL SPEED CONTROL	DQ 101.7	SPR. TWIN/TWENTY WARNING

ET 200M etäaseman tuloyksiköt

Tuloyksikkö 1		Tuloyksikkö 2	
Ryhmä 1		Ryhmä 1	
Osoite	Toiminnon nimi	Osoite	Toiminnon nimi
DI 100.0	O CONTROL SUPPLY	DI 100.0	OTHER SPREADER FUNC. 5
DI 100.1	O CONTROL SUPPLY	DI 100.1	OTHER SPREADER FUNC. 6
DI 100.2	O CONTROL SUPPLY	DI 100.2	SPARE
DI 100.3	O CONTROL SUPPLY	DI 100.3	SPARE
DI 100.4	O CONTROL SUPPLY	DI 100.4	SPARE
DI 100.5	SPARE	DI 100.5	SPARE
DI 100.6	SPARE	DI 100.6	SPARE
DI 100.7	SPARE	DI 100.7	SPARE
Ryhmä 2		Ryhmä 2	
Osoite		Osoite	
DI 101.0	DRIVES ON	DI 101.0	SPARE
DI 101.1	DRIVES OFF	DI 101.1	SPARE
DI 101.2	SPREADER PUMP	DI 101.2	SPARE
DI 101.3	RED NIGHT LIGHTS	DI 101.3	SPARE
DI 101.4	MAIN GIRDER LIGHTS	DI 101.4	SPARE
DI 101.5	TROLLEY LIGHTS	DI 101.5	SPARE
DI 101.6	LOAD LANE LIGHTS	DI 101.6	SPARE
DI 101.7	DRIVING LIGHTS	DI 101.7	SPARE
Ryhmä 3		Ryhmä 3	
Osoite		Osoite	
DI 102.0	WALKWAY LIGHTS	DI 102.0	SPARE
DI 102.1	AUTOSTEERING	DI 102.1	SPARE
DI 102.2	WIPER INTERVALL SPEED I	DI 102.2	SPARE
DI 102.3	WIPER INTERVALL SPEED II	DI 102.3	SPARE
DI 102.4	SPARE	DI 102.4	SPARE
DI 102.5	SPARE	DI 102.5	SPARE
DI 102.6	AC RUN	DI 102.6	SPARE
DI 102.7	AC FAULT	DI 102.7	SPARE
Ryhmä4		Ryhmä4	
Osoite		Osoite	
DI 103.0	DYNAPILOT GANTRY ON	DI 103.0	SPARE
DI 103.1	DYNAPILOT TROLLEY ON	DI 103.1	SPARE
DI 103.2	OTHER SPREADER FUNC. 1	DI 103.2	SPARE
DI 103.3	OTHER SPREADER FUNC. 2	DI 103.3	SPARE
DI 103.4	OTHER SPREADER FUNC. 3	DI 103.4	SPARE
DI 103.5	OTHER SPREADER FUNC. 4	DI 103.5	SPARE
DI 103.6	CABIN GATE 1	DI 103.6	SPARE
DI 103.7	CABIN GATE 2	DI 103.7	SPARE